工程软件
数控加工自动编程经典实例

Mastercam 数控加工自动编程经典实例

周　敏　编著

第2版

- 新增刀具路径编辑技巧
- 详解数控铣考证试题
- 掌握编程工艺精髓
- 提高实际加工能力
- 赢得更好工作机会

MENU

TOOL PARAM

机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配书光盘

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

工程软件数控加工自动编程经典实例

Mastercam 数控加工自动编程经典实例

第 2 版

周 敏 编 著



机 械 工 业 出 版 社

本书以 Mastercam 9.1 为例，主要讲解 Mastercam 的数控铣加工模块，内容包括 Mastercam 各种数控铣削加工的方法和编程实例，以及 SINUMERIK 802D 数控铣床、FANUC 加工中心的操作等，旨在开拓学生思维，培养学生的实际动手能力。全书共分 7 章，内容以近几年来数控铣考证试题为主，从简单的二维轮廓类零件、典型三维零件、复杂双面零件到精度配合要求零件、典型曲面零件的加工、Mastercam 自动编程刀具路径编辑技巧，由浅入深，循序渐进，能够让学习者很快了解数控编程的工艺和加工的特点，领悟到编程工艺的精髓，达到事半功倍的效果。随书赠送多媒体光盘，包含了书中的所有实例模型，读者可以在学习过程中参考练习。

本书既可以作为大中专学生学习编程和加工的参考教材，也可以作为企业从事数控编程和加工人员的参考资料。

图书在版编目（CIP）数据

Mastercam 数控加工自动编程经典实例/周敏编著. —2 版. —北京：机械工业出版社，2013.1（2016.1重印）

（工程软件数控加工自动编程经典实例）

ISBN 978-7-111-40270-1

Ⅰ. ①M… Ⅱ. ①周… Ⅲ. ①数控机床—加工—计算机辅助设计—应用软件 Ⅳ. ①TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 261905 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：周国萍 责任编辑：周国萍

版式设计：霍永明 责任校对：纪 敬

封面设计：姚 毅 责任印制：刘 岚

北京四季青印刷厂印刷

2016 年 1 月第 2 版第 7 次印刷

184mm×260mm • 15.75 印张 • 387 千字

16501—19500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-40270-1

ISBN 978-7-89433-696-5（光盘）

定价：39.00 元（含1CD）

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

策划编辑：（010）88379733

电话服务 网络服务

社服务中心：（010）88361066 教材网：http://www.cmpedu.com

销售一部：（010）68326294 机工官网：http://www.cmpbook.com

销售二部：（010）88379649 机工官博：http://weibo.com/cmp1952

读者购书热线：（010）88379203 **封面无防伪标均为盗版**

第 2 版前言

Mastercam 是美国 CNC 公司推出的集设计和制造、数控机床自动编程于一体的 CAD/CAM 软件，是目前我国应用最广泛、最具代表性的 CAD/CAM 软件之一。

Mastercam 9.1 是 Mastercam 软件中较为成熟的一个版本，本书以 Mastercam 9.1 中文版为例，主要讲解 Mastercam 的数控铣加工模块。

CAD/CAM 是一门实践性很强的技术，本书是作者在长期的 Mastercam 理论教学基础上，结合丰富的机床操作实践经验编写而成。主要内容包括 Mastercam 各种数控铣削加工的方法介绍和编程实例，以及 SINUMERIK 802D 数控铣床、FANUC 加工中心的操作等，做到理论联系实际，向读者提供了一个全方位展示数控编程和加工的平台。书中内容以近几年来数控铣工考证试题为主，内容由浅入深，通过实例编程和加工，可以大大缩短读者的学习时间，达到事半功倍的效果。

本书在编写过程中，突出了以下特点：

① 由浅入深。本书首先由最简单的加工编程进行示例讲解，再到复杂的零件加工方法，讲解详尽。

② 实用性。本书所介绍的每一个实例均来自于教学和生产实际，能让读者在最短的时间内掌握操作技巧，其最终目的是让初学者能够在实际工作中解决问题。

③ 讲解详尽。本书对每个实例都进行了详细的讲解，并配以图片、参数设置，使读者逐步加深对加工编程的理解。

④ 多媒体示范。本书所附的光盘包含了书中的所有实例模型，读者可以在学习过程中参考练习。

⑤ 突出实践环节，本书还讲解了用数控机床加工的全过程、操作技巧和常见故障的处理等。

本书第 1 版自 2011 年 6 月出版后，受到读者的欢迎，第 2 版旨在解决部分章节的小错误或表达不够严谨等问题，并新增一章，通过 3 个实例阐述 Mastercam 自动编程刀具路径编辑的一些常见技巧，让本书更加丰富和实用。

由于编著者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者提出宝贵意见。

编著者

目　　录

第 2 版前言
第 1 章　Mastercam 9.1 概论 1
1.1　Mastercam 9.1 简介 1
1.1.1　Mastercam 9.1 中文版的安装 1
1.1.2　Mastercam 9.1 中文版的启动 2
1.2　Mastercam 9.1 常见加工类型 4
1.2.1　面铣 4
1.2.2　外形铣削 8
1.2.3　挖槽加工 12
1.2.4　钻孔加工 18
1.2.5　曲面粗加工 21
1.2.6　曲面精加工 27
1.2.7　线架构路径加工 44
本章小结 52
第 2 章　经典实例一 53
2.1　零件的工艺分析 53
2.1.1　零件的加工方案 54
2.1.2　切削参数的设定 54
2.2　零件的 CAD 建模 59
2.3　CAM 刀具路径的设定 60
2.3.1　刀具的选择 60
2.3.2　工作设定 61
2.3.3　刀具路径编辑 61
2.3.4　程序的后处理 70
2.4　SINUMERIK 802D 数控铣床加工的基本操作 70
2.4.1　SINUMERIK 802D 面板操作 70
2.4.2　零件的装夹 74
2.4.3　对刀与换刀 75
2.4.4　程序的录入 79
2.4.5　机床模拟仿真 81
2.4.6　零件的加工 82
本章小结 83
第 3 章　经典实例二 84
3.1　零件的工艺分析 84
3.2　零件的 CAD 建模 85

3.2.1　二维造型 85
3.2.2　实体及曲面建模 86
3.3　零件的 CAM 刀具路径编辑 88
3.4　SINUMERIK 802D 数控铣床加工操作技巧 99
3.4.1　对刀技巧 99
3.4.2　DNC 方式加工 101
3.4.3　常见问题及处理 102
3.5　零件精度的分析与处理方法 105
本章小结 112
第 4 章　经典实例三 113
4.1　双面零件加工的工艺分析 114
4.2　反面 CAD 建模 114
4.3　反面刀具路径编辑 116
4.4　正面 CAD 建模 129
4.5　正面刀具路径编辑 130
4.6　FANUC 0i-MC 加工中心的基本操作 137
4.6.1　FANUC 0i-MC 加工中心的面板操作 137
4.6.2　FANUC 0i-MC 加工中心的对刀操作 143
4.6.3　程序的录入与零件的反面加工 146
4.6.4　零件正面的对刀与加工 147
本章小结 149
第 5 章　经典实例四 150
5.1　零件 1 和零件 2 的工艺分析 151
5.2　零件 1 的正面 CAD 建模 152
5.3　零件 1 的正面刀具路径编辑 153
5.4　零件 1 的反面 CAD 建模 164
5.5　零件 1 的反面刀具路径编辑 164
5.6　零件 2 的正面 CAD 建模 168
5.7　零件 2 的正面刀具路径编辑 168
5.8　零件 2 的反面 CAD 建模 178
5.9　零件 2 的反面刀具路径编辑 179
5.10　FANUC 0i-MC 加工中心常见问题及处理 182
5.11　FANUC 0i-MC 加工中心加工精度分析 182
本章小结 184
第 6 章　典型曲面零件的加工 185
6.1　典型曲面零件的 CAD 建模 185
6.2　典型曲面零件的工艺分析 186
6.3　典型曲面零件的刀具路径编辑 186

本章小结 198
第 7 章 Mastercam 常见刀具路径编辑技巧 199
7.1 零件 1 的工艺分析 199
7.2 零件 1 的 CAD 建模 200
7.3 零件 1 的刀具路径编辑 201
7.4 零件 2 的工艺分析 207
7.5 零件 2 的 CAD 建模 208
7.6 零件 2 的刀具路径编辑 210
7.7 零件 3 的工艺分析 216
7.8 零件 3 的 CAD 建模 217
7.9 零件 3 的刀具路径编辑 219
本章小结 226
附录 227
附录 A Mastercam V9.1 命令解说一览表 227
附录 B Mastercam 的快捷功能键 241
附录 C 加工工艺程序单 243
参考文献 244

第 1 章　Mastercam 9.1 概论

Mastercam 9.1 是美国 CNC 公司推出的 Mastercam 软件中较为成熟的一个版本，它有 Design（建模）、Lathe（数控车）、Mill（数控铣）、Router（路径）和 Wire（线切割）5 个模块。本书以 Mastercam 9.1 中文版为例，主要讲解 Mastercam 的建模和数控铣加工，即 Design 模块和 Mill 模块。

Design 模块是 Mastercam 软件公用的 CAD 模块，能够集二维和三维线框、曲面造型和实体造型于一体，具有全特征化造型功能和强大的图形编辑、转换处理能力。Mill 模块主要用于生成铣削加工刀具路径，支持 2～5 轴的铣削加工程序编制，可以直接加工二维轮廓、平面、曲面和实体，提供多种详细的刀具路径形式和进给方式，同时还提供了刀具路径的管理和编辑、路径模拟、实体加工模拟仿真和后处理等功能。

与 UG 和 Pro/E 的 CAM 模块相比，Mastercam 的数控加工具有简便易学、容易理解、仿真直观等特点，因而获得了广泛的使用。目前流行的 CAD/CAM 模式是 Pro/E 的 CAD 造型加 Mastercam 的 CAM 加工，UG 因有较为强大的 CAD/CAM 一体化功能也获得了广泛的应用。

1.1　Mastercam 9.1 简介

1.1.1　Mastercam 9.1 中文版的安装

双击光盘 Mastercam 9.1 目录下 Setup.exe 文件，启动安装界面，如图 1-1 所示。



图 1-1　Mastercam 9.1 安装界面

单击“Install Products”，Mastercam 9.1 开始安装，安装完成后执行文件 Chi_v91sp2_Gb.exe 完成汉化。

找到 Mastercam 9.1 安装目录下的批处理文件 CHI.bat，执行后即可实现中文版 Mastercam 9.1；若要还原为英文版，只需执行安装目录下的批处理文件 ENG.bat 即可。

1.1.2 Mastercam 9.1 中文版的启动

双击电脑桌面的图标，启动 Mastercam Mill 9.1，屏幕分为五个区：窗口左上方为主菜单区、左下方为副菜单区、中间黑色部分为绘图区、上方为快捷命令图标区、下方灰色部分为系统提示区，如图 1-2 所示。此外，屏幕右上角显示的（X，Y）坐标值表示了鼠标在移动时的位置，屏幕绘图区左下角的坐标轴表示了系统当前的视角设置状态，而 mm 或 inch 表示系统当前设置的绘图单位。

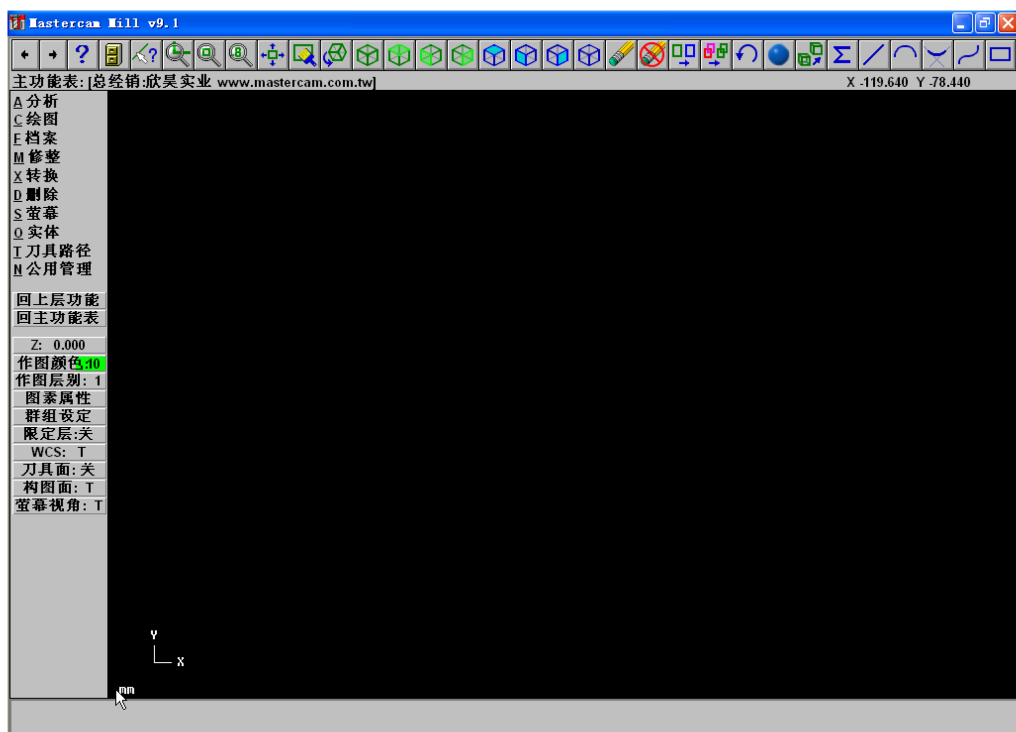


图 1-2　Mastercam 9.1 主界面

Mastercam 主菜单区包括分析（Analyze）、绘图（Create）、档案（File）、修整（Modify）、转换（Xform）、删除（Delete）、萤幕（Screen）、实体（Solid）、刀具路径（Toolpaths）和公用管理（NC utils）等命令。

主菜单中的绘图（Create）命令，包括了生成点、直线、圆弧、倒圆角、曲线、曲面曲线、尺寸标注、倒角、文字、呼叫副图、椭圆、多边形、边界盒、螺旋线、齿轮、圆表和自定义函数表达式绘图等线框造型命令，以及曲面造型命令，如图 1-3 所示。

曲面（Surface）命令，包括生成举升曲面、昆氏曲面、直纹曲面、旋转曲面、扫描曲面、牵引曲面和曲面倒圆角、补正、修整、熔接以及由实体产生曲面等，如图 1-4 所示。

图 1-3　绘图命令

图 1-4　曲面命令

主菜单中的实体（Solid）命令，包括生成基本实体，挤出、旋转、扫掠、举升实体，对实体进行倒圆角、倒角、薄壳、布尔运算、管理和修改等，如图 1-5 所示。

图 1-5　实体命令

刀具路径（Toolpaths）包括外形铣削、钻孔、挖槽、面铣、曲面加工、多轴加工等加工操作，以及操作管理、工作设定等。曲面加工包括平行铣削、放射状加工、投影加工、流线加工、等高外形、残料粗加工、挖槽粗加工、钻削式加工等 8 种粗加工方式，以及平行铣削、陡斜面加工、放射状加工、投影加工、流线加工、等高外形、浅平面加工、交线清角、残料清角、3D 等距加工等 10 种精加工方式，如图 1-6 所示。

图 1-6　刀具路径命令

公用管理（NC utils）包括路径模拟、实体验证、批次处理、程序过滤、后处理、加工报表、定义刀具和定义材料等。

副菜单区包括 Z：0.000（工作深度设定 Z：0.000）、作图颜色：10（Color：10）、作图层别：1（Level：1）、图素属性（Attributes）、群组设定（Groups）、限定层：关（Mask：OFF）、WCS：T、刀具面：关（Tplane：OFF）、构图面：T（Cplane：Top）和萤幕视角：

T（Gview：Top）等命令，如图 1-7 所示。

Z: 0.000	刀具面 - 按<A	构图面：按<Al	萤幕视角
作图颜色:10	O 关	3 空间绘图	T 俯视图
作图层别：1	T 俯视图	T 俯视图	F 前视图
图素属性	F 前视图	F 前视图	S 侧视图
群组设定	S 侧视图	S 侧视图	I 等角视图
限定层:关	U 视角号码	U 视角号码	U 视角号码
WCS: T	A 名称视角	A 名称视角	A 名称视角
刀具面：关	E 图素定面	E 图素定面	E 图素定面
构图面：T	R 旋转定面	R 旋转定面	R 旋转定面
萤幕视角：T	L 法线面	O 法线面	D 动态旋转
	N 下一页	N 下一页	N 下一页

图 1-7　副菜单区命令

刀具面是表示实际加工中数控机床坐标系的二维平面。根据不同类型的机床，刀具面的设置不尽相同。对于立式数控铣床，刀具面应设置为俯视图；对于卧式数控铣床，通常设置为前视图或侧视图。

构图面是绘图时所在的视图平面。系统提供的构图面包括：空间绘图、俯视图、前视图、侧视图、视角号码、名称视角、图素定面、旋转定面和法线面等。

萤幕视角是用以设置观察图形的视角，选择不同的图形视角可以看到图形的不同部位。萤幕视角的改变不会影响构图面所绘制图形的视图方向。

除非特别声明，本书所载加工方法均以立式数控铣床或立式加工中心为例，其刀具面均为俯视图。

1.2　Mastercam 9.1 常见加工类型

1.2.1　面铣

在大多数情况下，面铣是零件加工的第一道工序，通过去除毛坯上表面的杂质，获得零件上表面比较光洁的平面。

➘　例 1-1：面铣加工

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）在主菜单区依次单击“绘图”“矩形”“一点”，弹出“绘制矩形”对话框，输入宽度：118、高度：78，单击“确定”，抓点方式选择“原点（0，0）”，绘出 118mm×78mm 矩形。

2）单击“F9”，打开“坐标轴显示开关”，单击上部快捷命令图标区图标，将萤幕视角切换到等角视角，如图 1-8 所示。

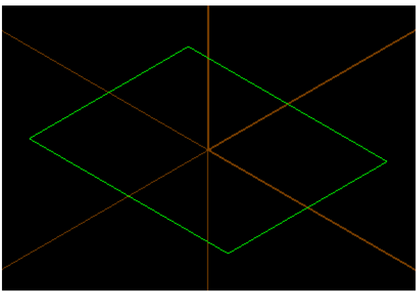


图 1-8　绘制矩形

步骤二　面铣加工

1）在主菜单区单击“回主功能表”，返回到主界面，单击“刀具路径”“面铣”“串联”，选择刚才绘出的矩形（高亮显示），单击“执行”，弹出“面铣”对话框，将鼠标移动到中间空白处，单击鼠标右键选择“从刀具库选取刀具...”，如图 1-9 所示。

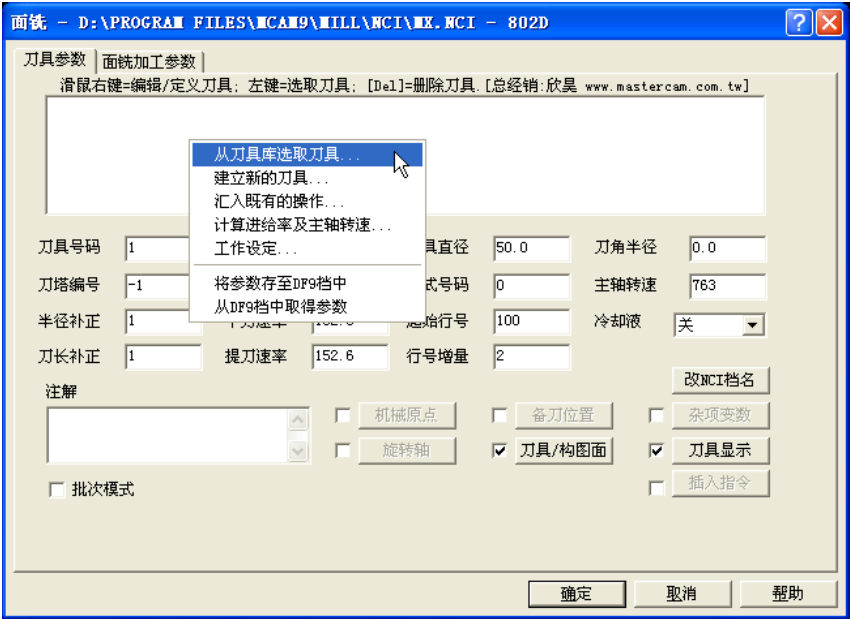


图 1-9　“面铣”对话框

2）系统弹出图 1-10 所示的“刀具管理员”对话框，不勾选“过滤刀具”，选择“平刀”、“直径 16.0000 mm”，单击“确定”。

3）返回“面铣”对话框，输入面铣刀具参数，进给率：400.0，下刀速率：200.0，提刀速率：2000.0，主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 1-11 所示。

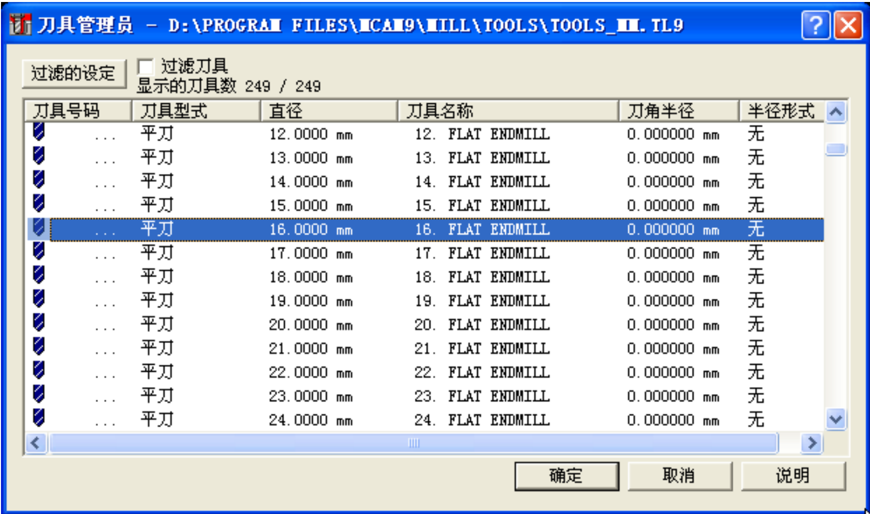


图 1-10　“刀具管理员”对话框

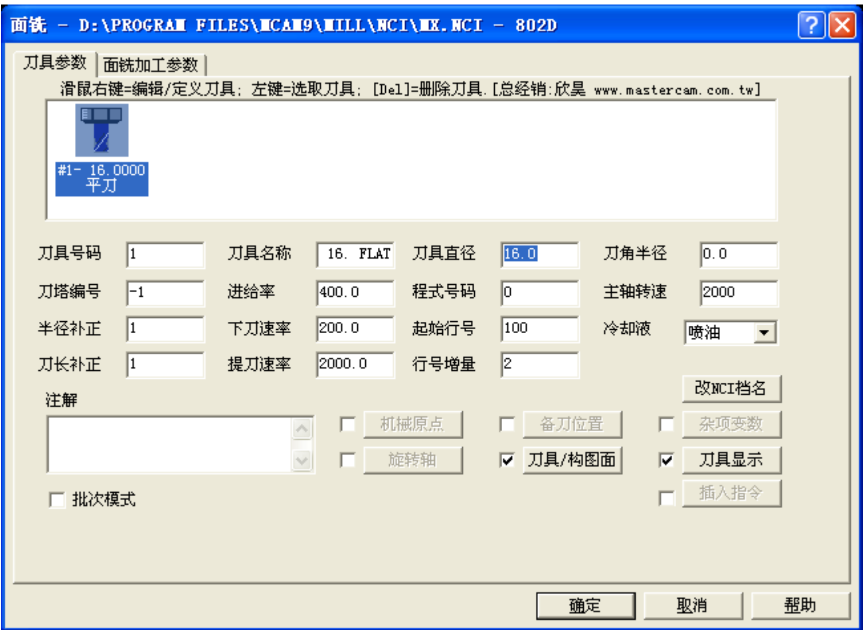


图 1-11　“面铣”对话框

4）将鼠标移动到#1-16 平刀，单击鼠标右键，弹出“定义刀具”对话框，如图 1-12 所示。

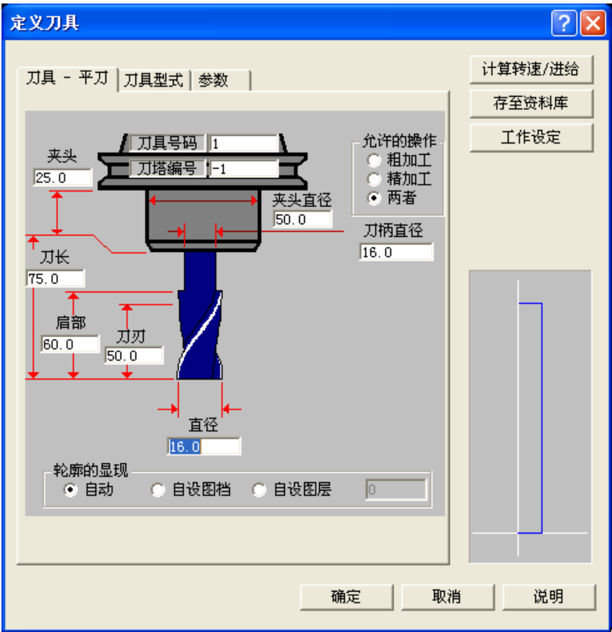


图 1-12　“定义刀具”对话框

5）单击“工作设定”，进入“工作设定”对话框，如图 1-13 所示。

6）输入 X：1200、Y：800、Z：300，定义毛坯大小，进给率的计算点选“依照刀具”，勾选“显示素材”，单击“确定”两次，返回“面铣”对话框。

7）单击“面铣加工参数”，进入“面铣加工参数”选项卡，设定参考高度：30.0，进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，深度：−0.3，其余默认，单击“确定”，如图 1−14 所示。

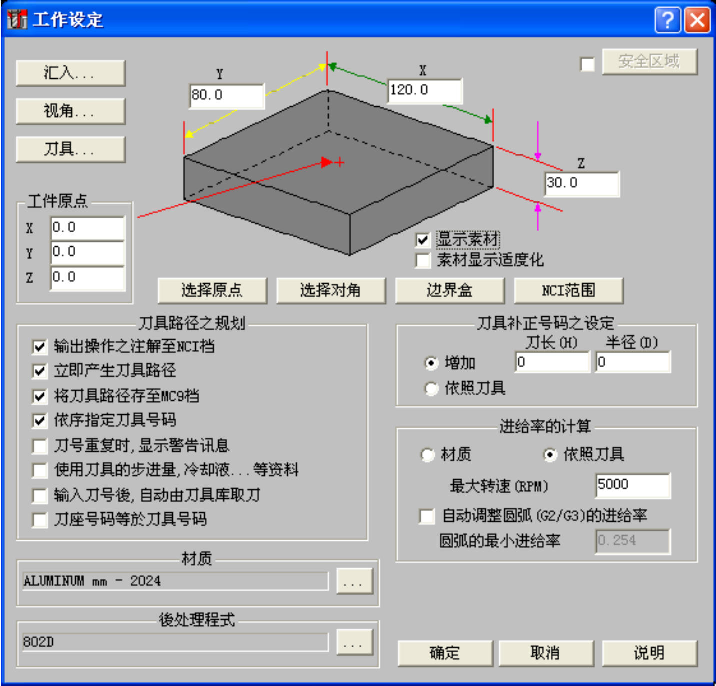


图 1−13　“工作设定”对话框

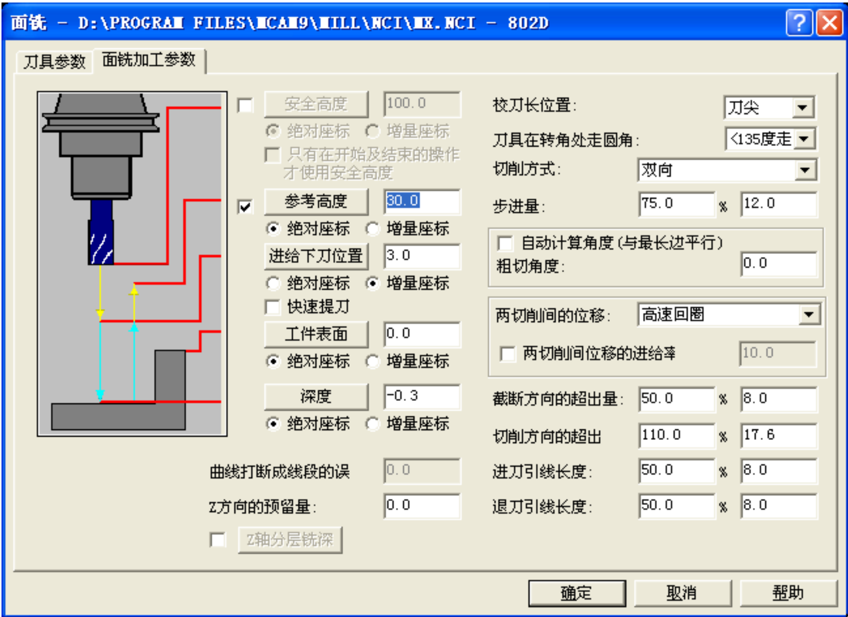


图 1−14　面铣加工参数

8）系统自动弹出“操作管理员”对话框，如图 1−15 所示。



图 1-15　“操作管理员”对话框

9）单击“实体切削验证”，单击▶播放，仿真加工过程和结果如图 1-16 所示。在主菜单区单击“档案”、“存档”，将本例保存为“面铣.mc9”文件。

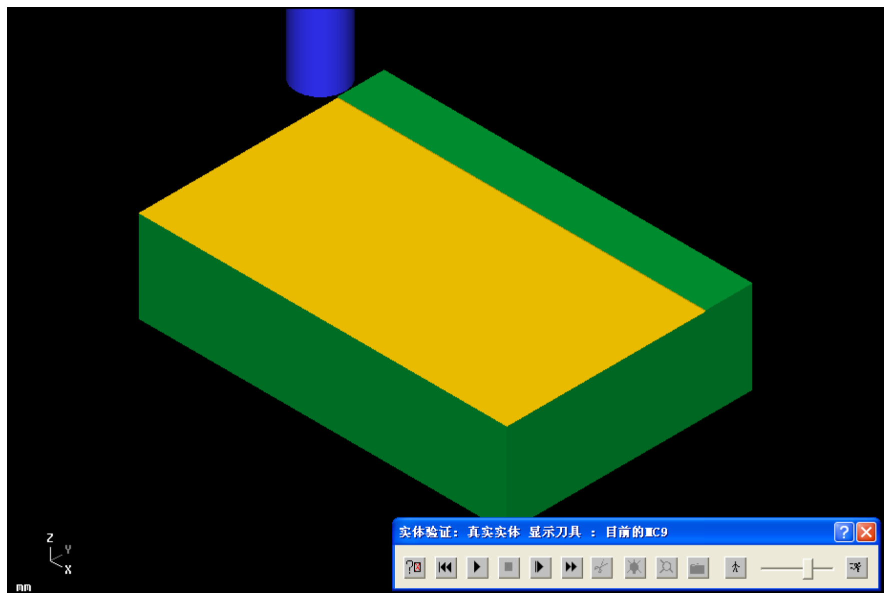


图 1-16　面铣实体切削验证



注：

本例主要用来说明面铣的过程。刀具的建立也可以选择“建立新刀具”。转速、进给率一般不要在“定义刀具”对话框的“参数”选项卡中修改，主要是因为同一把刀具用在不同的工序中加工参数有可能不同。“工作设定”也可以直接由主菜单区单击“刀具路径”、“工作设定”弹出。毛坯的选择一定要以实际测量的毛坯数值为准，毛坯过大或者过小，实体切削验证的效果会不真实。

1.2.2　外形铣削

外形铣削主要用于二维轮廓加工。Mastercam 的二维轮廓加工丰富多样，按照外形铣

削类型可以分为 2D、2D 倒角、螺旋式渐降斜插、残料加工等，还可以分为平面多次铣削和 Z 轴分层铣深等几种类型。

➘ 例 1-2：外形铣削加工（1）

以例 1-1 的图形、刀具和工件设定为准，要求在 120mm×80mm×30mm 的毛坯上铣出尺寸为 118mm×78mm×18mm 的外形，选择 2D 方式，Z 轴分层铣深。

操作步骤如下：

1）打开光盘文件“面铣.mc9”，单击“刀具路径”“操作管理”，弹出“操作管理员”对话框，将鼠标移动到“刀具路径 群组 1”，单击鼠标右键选择“群组”，更改操作群组名称，将“刀具路径 群组 1”更改为“D16”。

2）将鼠标移动到“D16”，单击鼠标右键选择“刀具路径”“外形铣削”，在主菜单区选择“串联”，选择矩形（高亮显示），单击“执行”，选择直径为 16mm 的平刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 1-17 所示。

图 1-17　外形铣削刀具参数

3）如图 1-18 所示，在“外形铣削参数”选项卡中输入参考高度：30.0，点选“绝对坐标”，进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：–18.0，补正形式：电脑，补正方向：右，勾选“Z 轴分层铣深”，单击“Z 轴分层铣深”，进入“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：1.0，勾选“不提刀”，其余默认，单击“确定”返回“外形铣削参数”选项卡，其余参数默认，单击“确定”退出，如图 1-19 所示。

4）在“操作管理员”对话框中选择“刀具路径模拟”，单击主菜单区“自动执行”，刀具路径如图 1-20 左图所示。将本例保存为“外形 1.mc9”文件。

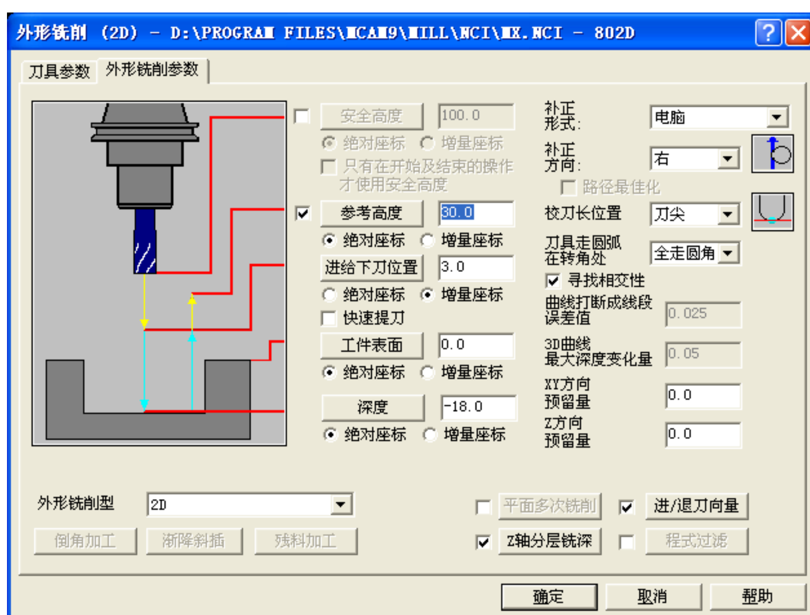


图 1-18　外形铣削（1）

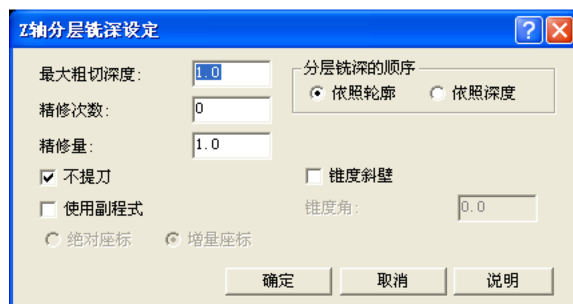


图 1-19　Z 轴分层铣深设定

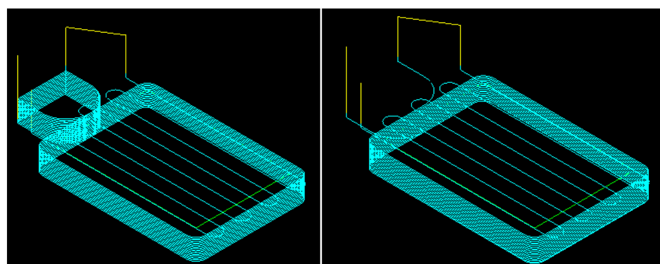


图 1-20　2D 与螺旋式渐降斜插刀具路径的对比

例 1-3：外形铣削加工（2）

以例 1-2 的图形、刀具和工件设定为准，要求在 120mm×80mm×30mm 的毛坯上铣出尺寸为 118mm×78mm×18mm 的外形，选择螺旋式渐降斜插方式。

操作步骤如下：

1）打开光盘文件“外形 1.mc9”，单击“刀具路径”“操作管理”，弹出“操作管理员”对话框，将鼠标移动到“外形铣削（2D）”，单击鼠标右键，选择“删除”。

2）将鼠标移动到“D16”，单击鼠标右键选择“刀具路径”“外形铣削”，在主菜单区选择“串联”，选择矩形（高亮显示），单击“执行”，刀具选择同**例 1-2**。在“外形铣削参数”选项卡中选择外形铣削型为“螺旋式渐降斜插”，其余与**例 1-2** 相同，如图 1-21 所示。

3）单击“渐降斜插”，斜插的位移方式有角度、深度和垂直下刀，这里选择“深度”方式，勾选“在最终深度补平”，斜插深度：1.0，其余默认，如图 1-22 所示。

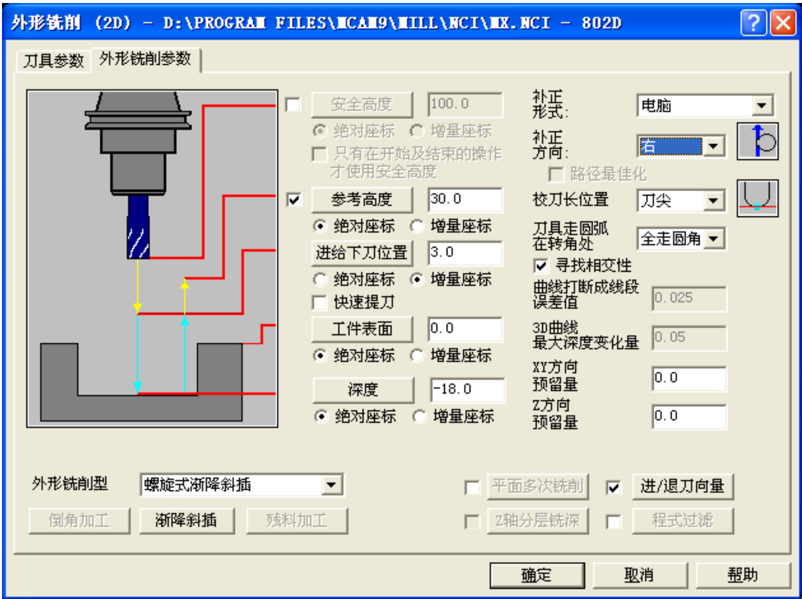


图 1-21　外形铣削（2）

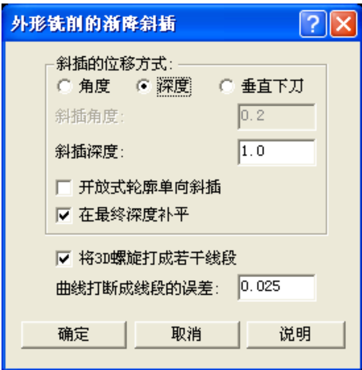


图 1-22　渐降斜插参数

4）在“操作管理员”对话框中选择“刀具路径模拟”，单击主菜单区“自动执行”，刀具路径如图 1-20 右图所示。将本例保存为“外形 2.mc9”文件。

5）实体切削验证如图 1-23 所示。

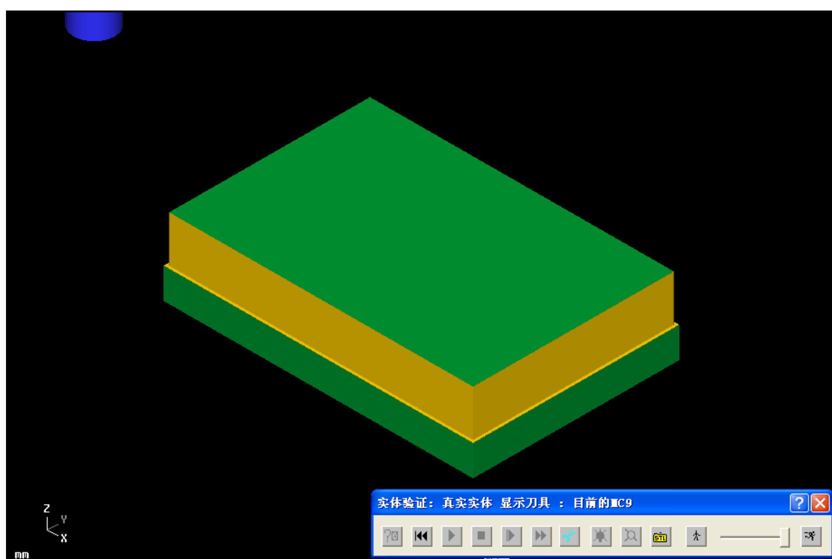


图 1-23　外形铣削实体切削验证



注：

上述两例主要用来说明外形铣削的过程。外形铣削参数设定首先要注意的是刀具补正的方向，如果设定错误，仿真加工时可以看出来。修改补正方向后，可以通过“操作管理员”对话框单击“重新计算”来改正。

通过 2D 和螺旋式渐降斜插刀具路径的对比（图 1-20）可以发现，螺旋式渐降斜插进给路径较短，因而加工效率要高一些。实际加工时，应根据具体情况灵活选用。

外形铣削中还有一种较为特殊的平面多次铣削方式，既可以当做面铣加工，也可以当做挖槽加工，将在后续例子中讲述。

1.2.3　挖槽加工

挖槽加工也称口袋加工，属于层铣粗加工的一种，其作用是去除封闭区域里的材料，主要用于形状简单的二维图形、侧面为直壁或倾斜度一致的封闭区域。

例 1-4：挖槽加工（1）

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）在主菜单区依次单击“绘图”“下一页”“多边形”，弹出“绘制多边形”对话框，输入边数：5、半径：30，其余默认，单击“确定”，抓点方式选择“原点（0，0）”，绘出多边形。

2）返回上层功能，单击“圆弧”“点半径圆”，在系统提示区输入半径：7.5，回车，抓点方式依次选择 5 条边的端点，作 5 个圆。

3）单击上部快捷命令图标，删除 5 条边。

4）单击上部快捷命令图标，在主菜单区选择“修整方式 N（不修整圆角）”，单击“圆角半径”，在系统提示区输入半径：12，回车，在绘图区依次选择邻近的两个圆，会出现两条相切的圆弧，将十字光标移动到需要保留的一条圆弧附近，单击鼠标左键绘制圆弧，如图 1-24 左边所示。

5）返回主功能表，单击“修整”、“修剪延伸”、“两个物体”，依次选择要保留的圆弧部分，选择“修剪或者延伸”，最终结果如图 1-24 右边所示。

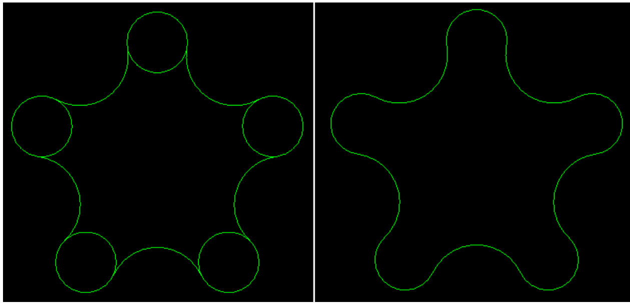


图 1-24　梅花图形

步骤二　挖槽加工

1）在主菜单区单击“回主功能表”，返回到主界面，单击“刀具路径”“挖槽”“串联”，选择刚才绘出的梅花图形（高亮显示），单击“执行”，弹出“挖槽（一般挖槽）”对话框，将鼠标移动到中间空白处，单击鼠标右键选择“从刀具库选取刀具”，选择直径为 12mm 的平刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 1-25 所示。

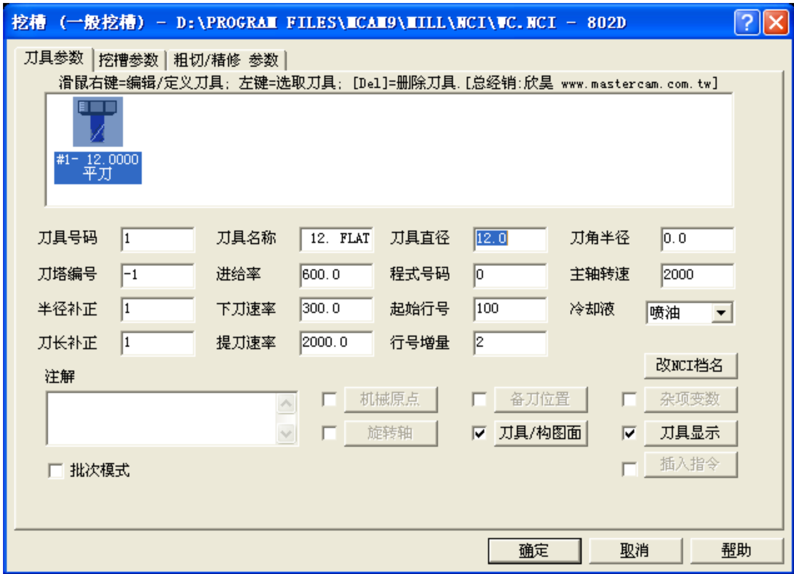


图 1-25　挖槽刀具参数

2）单击“挖槽参数”选项卡，输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增

量坐标”，工件表面：0.0，深度：-5.0，挖槽加工型式：一般挖槽，勾选“分层铣深”，如图 1-26 所示。

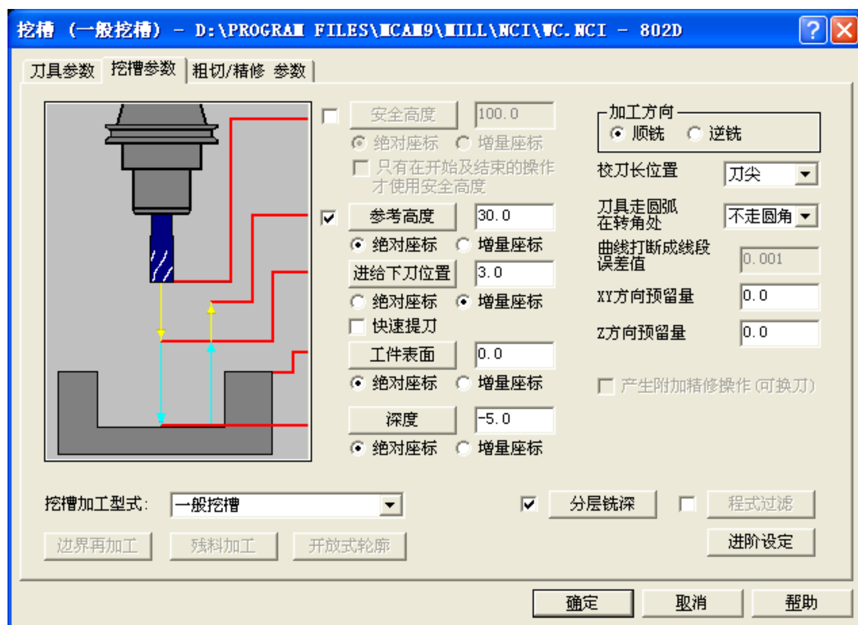


图 1-26　挖槽参数

3）单击“分层铣深”，输入最大粗切深度：0.6、精修次数：1、精修量：0.2，勾选“不提刀”，其余默认，单击“确定”退出，如图 1-27 所示。

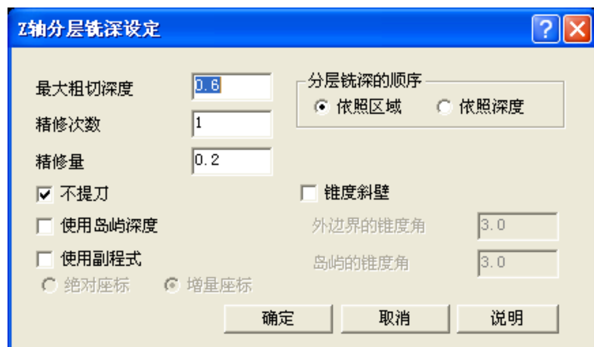


图 1-27　Z 轴分层铣深设定

4）单击“粗切/精修　参数”选项卡，选择“等距环切”，勾选“由内而外环切”“螺旋式下刀”，勾选“精修”，参数默认，勾选“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度才执行一次精修”，其余默认，如图 1-28 所示。

5）单击“螺旋式下刀”选项卡，输入 Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.3、XY 方向预留间隙：1.0、进刀角度：0.5，如果所有进刀都失败时，点选“中断程式”，其余默认，单击“确定”退出，如图 1-29 所示。

6）也可以采用“斜插式下刀”，输入 Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.3、XY 方向预留间隙：1.0、进刀角度：1.0、退刀角度：1.0，其余参数默认，如图 1-30 所示。

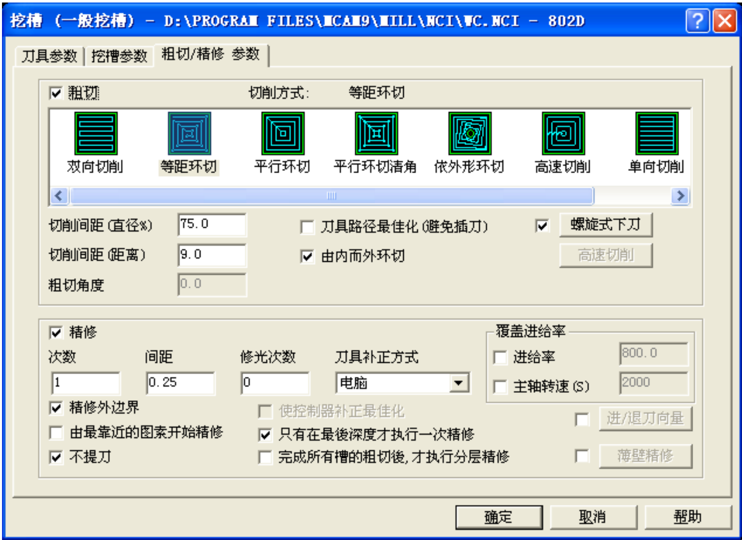


图 1-28　粗切/精修参数

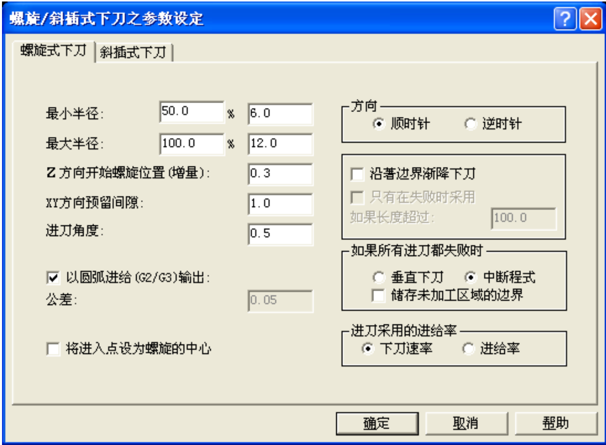


图 1-29　螺旋式下刀

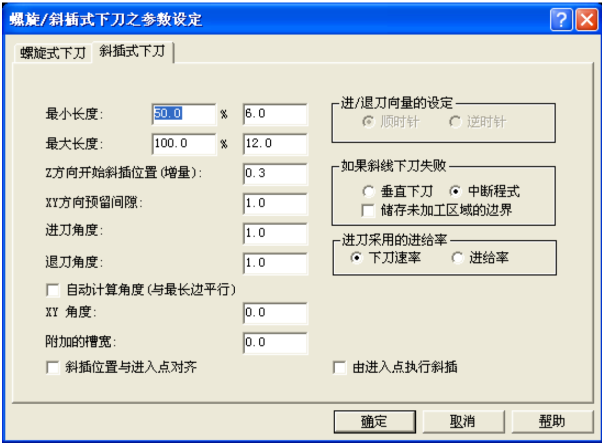


图 1-30　斜插式下刀

7）返回“操作管理员”对话框，进行刀具路径模拟，可以对比两种下刀方式路径的不同，如图 1−31 所示，左边为螺旋式下刀，右边为斜插式下刀。

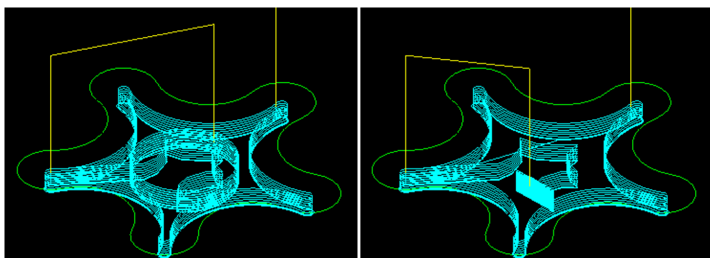


图 1−31　两种下刀方式路径对比

8）实体切削验证如图 1−32 所示。将本例保存为“挖槽.mc9”文件。

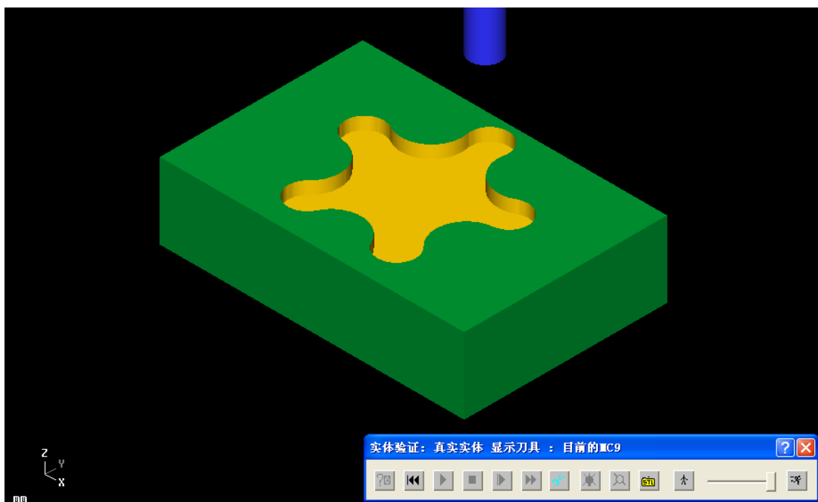


图 1−32　挖槽加工实体切削验证



注：

上述例子主要用来说明一般挖槽加工的过程。在封闭区域的内部挖槽，4 刃立铣刀是不能垂直下刀的。下刀方式多采用螺旋式下刀或斜插式下刀；2 刃立铣刀（键槽铣刀）可以垂直下刀，在“粗切/精修 参数”选项卡中，可以不勾选“螺旋式下刀”或“斜插式下刀”。

采用螺旋式下刀或斜插式下刀主要是看封闭区域的大小。相对于斜插式下刀而言，封闭区域较小时，螺旋下刀容易失败，螺旋或斜插的角度一般在 0.5°～3°。

挖槽加工还有残料加工、边界再加工、使用岛屿深度挖槽、开放式轮廓挖槽等方式，这里不一一叙述了。

例 1−5：挖槽加工（2）

前面提到，外形铣削中还有一种较为特殊的平面多次铣削方式，既可以当做面铣加工，也可以当做挖槽加工。以例 1−4 图形为例，用外形铣削的平面多次铣削方式来加工。

操作步骤如下：

1）打开光盘文件“挖槽.mc9”，在“操作管理员”对话框中删除挖槽加工。

2）建立外形铣削，刀具等参数与例 1-4 相同。

3）在“外形铣削参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：-5.0，选择“螺旋式渐降斜插”，勾选“平面多次铣削”，补正方向：左，如图 1-33 所示。

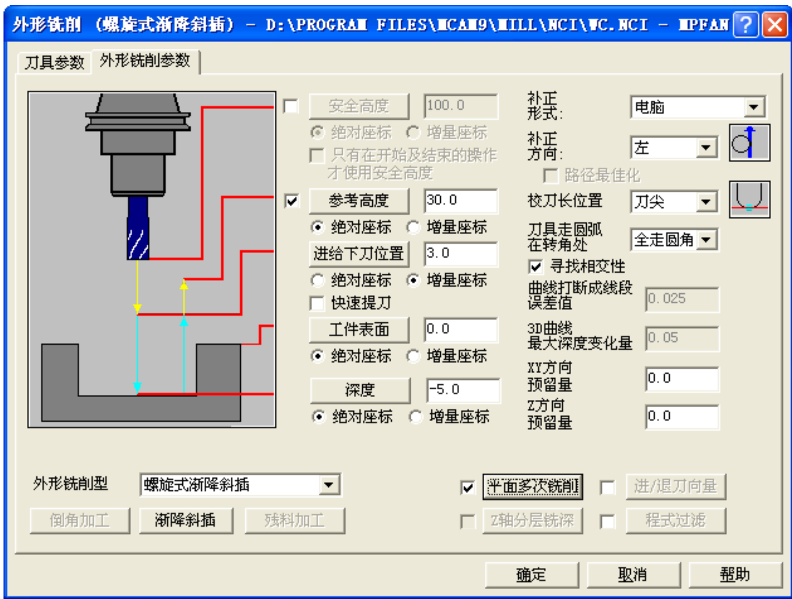


图 1-33　外形铣削参数

4）单击“渐降斜插”，选择“角度”，输入斜插角度：0.5，单击“确定”退出，如图 1-34 所示。

5）单击“平面多次铣削”，输入次数：2、间距：9.0、次数：1、间距：0.2，点选“最后深度”，勾选“不提刀”，单击“确定”退出，如图 1-35 所示。

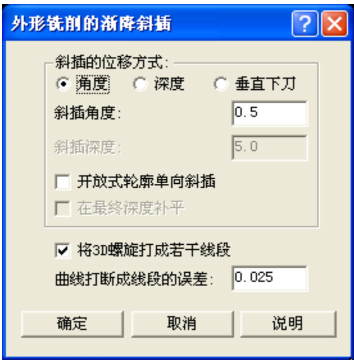


图 1-34　渐降斜插参数

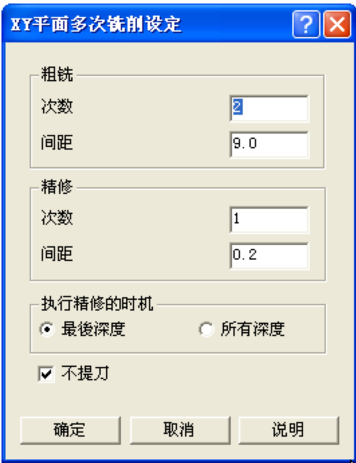


图 1-35　平面多次铣削参数

6）平面多次铣削刀具路径如图 1-36 所示。将本例保存为“外形 3.mc9”，实体切削验证与例 1-4 相同。

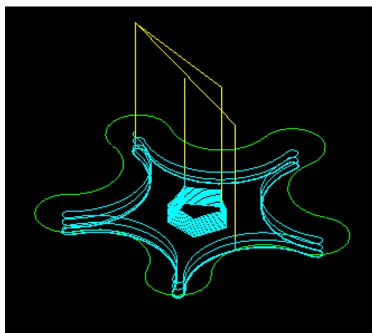


图 1-36　平面多次铣削刀具路径

1.2.4　钻孔加工

在数控铣床上进行钻孔加工，是常见的孔加工方式之一。

例 1-6：钻孔加工（1）

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）在主菜单区依次单击“绘图”“矩形”“一点”，弹出“绘制矩形”对话框，输入宽度：118、高度：78，单击“确定”，抓点方式选择“原点（0，0）”，绘出 118mm×78mm 矩形。

2）单击“绘图”“圆弧”“点半径圆”，在系统提示区输入半径：5，回车，抓点方式依次在系统提示区输入：X−40 Y−20，回车，X−40 Y20，回车，X40 Y−20，回车，X40 Y20，回车，绘出 4 个圆，如图 1-37 所示。

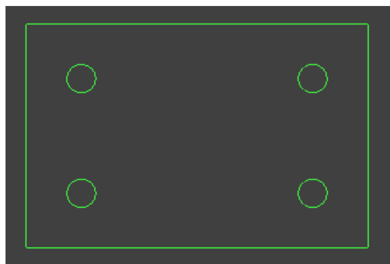


图 1-37　钻孔 CAD 模型

步骤二　钻孔加工

1）单击“刀具路径”“钻孔”，选择刚才绘出的 4 个圆（高亮显示），单击“执行”。

2）单击“点之管理”“选项”，选择点的排序方式，这里选择第二排第二个，如图 1-38 所示，单击“执行”。（注：如果对点的排序没有特殊要求，可以跳过本步。）

3）在“刀具参数”选项卡对话框中新建直径为 10mm 的钻头，输入进给率：50.0、主轴转速：800，冷却液：喷油，工件设定与例 1-1 相同，如图 1-39 所示。

4）在“深孔啄钻—完整回缩”选项卡中选择“深孔啄钻（G83）”，输入工件表面：0.0、深度：−10.0，勾选“刀尖补偿”，其余默认，单击“确定”退出，如图 1-40 所示。

5）在“操作管理员”对话框中单击“刀具路径模拟”，钻孔刀具路径如图 1-41 所示。将本例保存为“钻孔 1.mc9”文件。

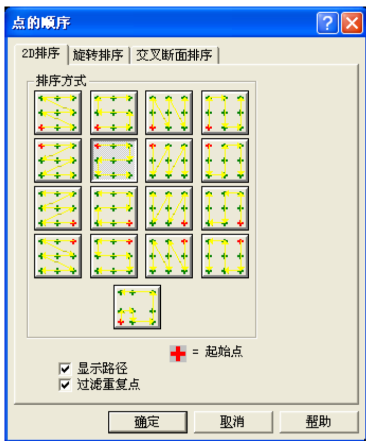


图 1-38　点的排序

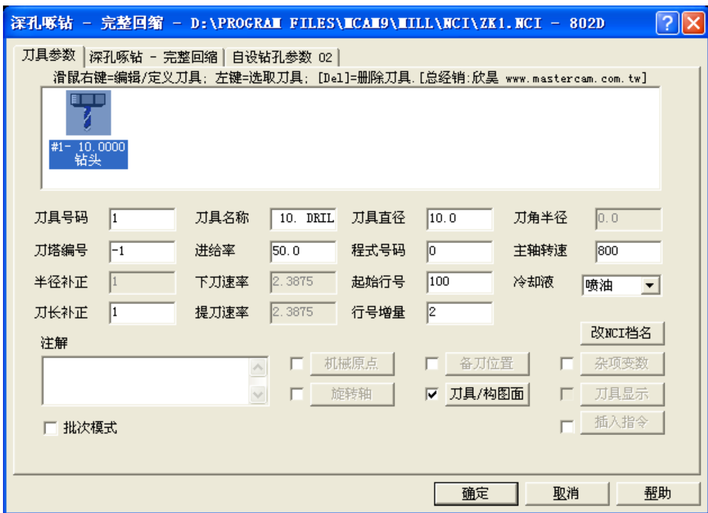


图 1-39　钻孔刀具参数

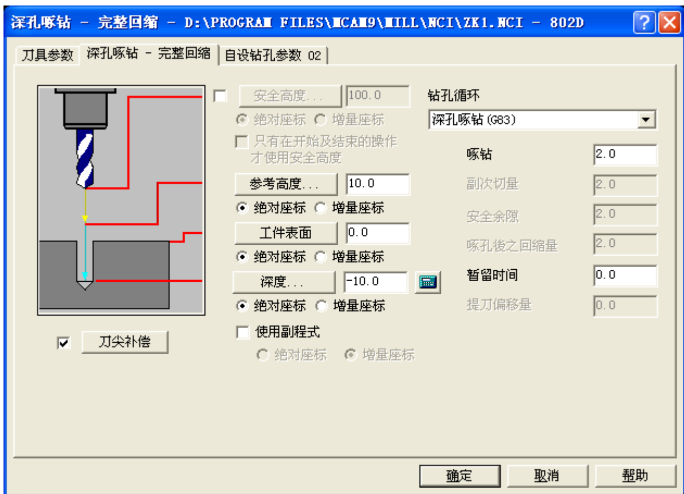


图 1-40　钻孔参数

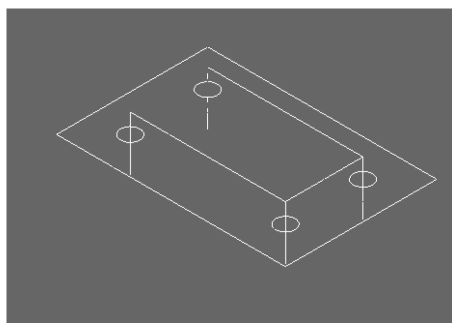


图 1-41　钻孔刀具路径模拟

例 1-7：钻孔加工（2）

对于不同深度的孔，也可以通过编辑参数来实现，以例 1-6 为例，为了实现 4 个孔的钻孔深度不同，可以在“操作管理员”对话框中单击“图形”来编辑，如图 1-42 所示。



图 1-42　编辑图形

操作步骤如下：

1）在主菜单区单击“编辑深度”，将光标移动到要编辑的孔位，在系统提示区输入−5，回车，返回上层功能，在弹出的“随后各点之值是否改变”中选择“否”。

2）依次将光标移动到要编辑的第二个孔，在系统提示区输入−15，回车，返回上层功能，在弹出的“随后各点之值是否改变”中选择“否”。

3）同理，编辑第三、四个孔，深度分别为−25、−50，单击“执行”。

4）在“操作管理员”对话框中单击“重新计算”，刀具路径如图 1-43 所示。将本例保存为“钻孔 2.mc9”文件。

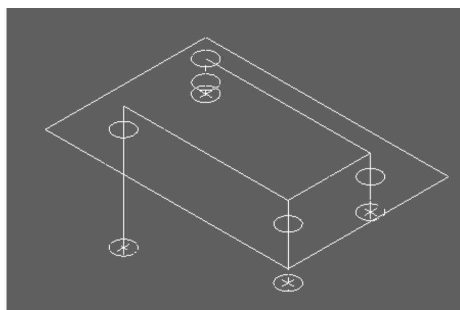


图 1-43　不同深度的孔加工



注：

上述例子主要用来说明孔的加工。孔的加工首先要注意的是主轴的转速和进给率的设定，其次是钻孔方式。常用的钻孔方式是深孔啄钻（G83），对于较浅的孔可用深孔钻（G81/G82）。

1.2.5　曲面粗加工

曲面粗加工用来快速去除大量的毛坯余量，为精加工曲面做好准备。对于不同形状和加工要求的零件，系统提供了 8 种曲面粗加工方法和 10 种曲面精加工方法。曲面的粗、精加工方法有部分重复的情况，这里主要讲述曲面粗加工中的挖槽加工和残料加工。

例 1-8：曲面挖槽加工

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）在主菜单区单击“绘图”“下一页”“椭圆”，分别建立椭圆，见表 1-1。

2）将萤幕视角切换到侧视图，绘出椭圆，X 轴半径：2，Y 轴半径：5，起始角度：0，终止角度：180，抓点方式：端点，将两个端点用直线连接。

表 1-1　椭圆参数

椭　　圆	X 轴半径/mm	Y 轴半径/mm	起始角度/（°）	终止角度/（°）	抓 点 方 式
1	50	30	90	270	原点
2	15	30	90	270	原点
3	40	15	90	270	X0Y15

3）在主菜单区单击“转换”“平移”，选择刚才的半椭圆，选择“直角坐标”，输入 X-30，选择“复制”，单击“确定”。

4）在椭圆 3 和椭圆 1 之间选择“圆角”，半径：6，修整方式：N；然后选择“修剪延伸”、“两个物体”，修剪掉多余的曲线，如图 1-44 左图所示。

5）单击“绘图”“曲面”“扫描曲面”，选择刚才的半圆作为“截断方向外形”，选择刚才的椭圆曲线作为“截断方向”，产生曲面。

6）在主菜单区单击“转换”“镜射”，选择 Y 轴作镜像轴，选择“全部图素”，生成整个曲面，如图 1-44 右图所示。

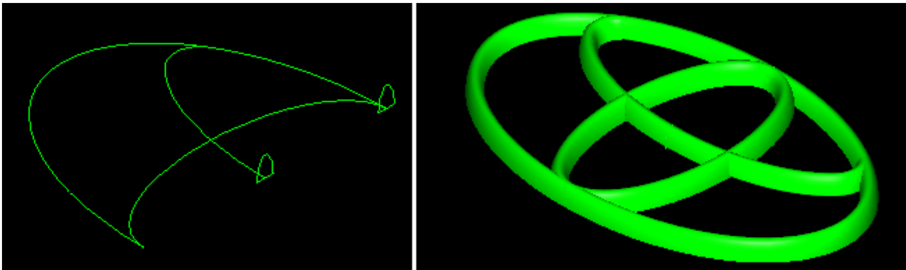


图 1-44　曲面挖槽的 CAD 建模

步骤二　曲面挖槽

1）将萤幕视角设定为前视图，在主菜单区选择“转换”“平移”，选择“所有的图素”，单击“执行”，选择“直角坐标”，在左下方系统提示区输入：Y-5，回车，点选“移动”，单击“确定”，将整个图形下移 5mm，使得上平面与原点对齐。

2）将萤幕视角设定为俯视图，绘出 120mm×80mm 矩形，抓点方式为原点。

3）单击“刀具路径”“曲面加工”“粗加工”“挖槽粗加工”，选择“所有的曲面”，单击“执行”，弹出“曲面粗加工—挖槽”对话框，从刀库中选择直径为 12mm 的平刀，输入进给率：800.0、下刀速率：200.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 1-45 所示。

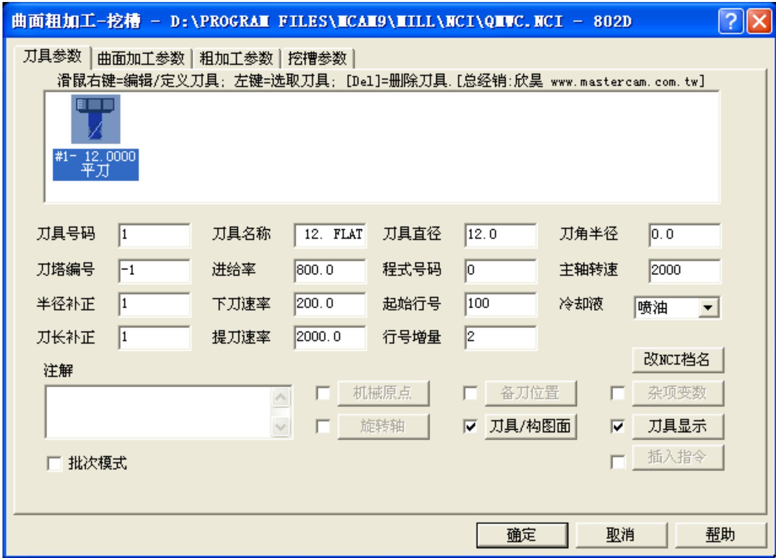


图 1-45　曲面挖槽粗加工刀具参数

4）在“曲面加工参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，加工的曲面/实体预留量：0.3，选择所有的曲面，刀具的切削范围中刀具位置点选“中”，选择刚才绘制的 120mm×80mm 矩形，其余默认，如图 1-46 所示。

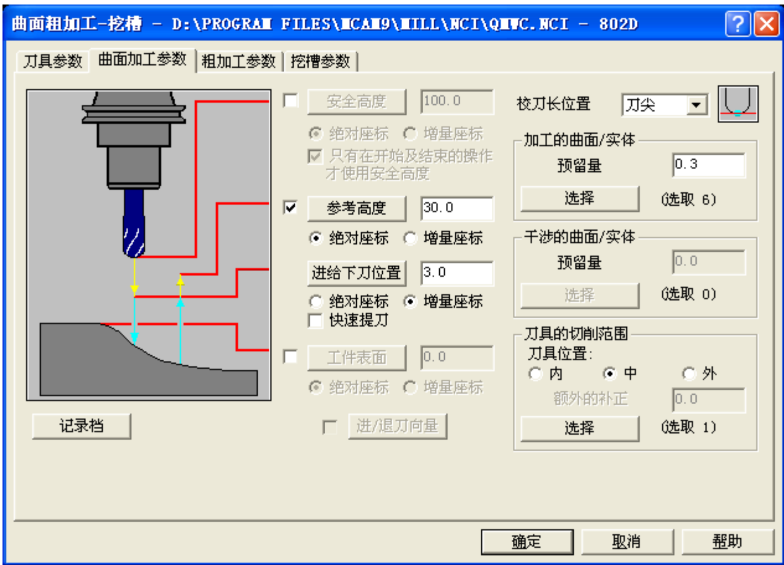


图 1-46　曲面加工参数

5）在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.5，勾选“由切削范围外下刀”，其余默认，如图 1-47 所示。

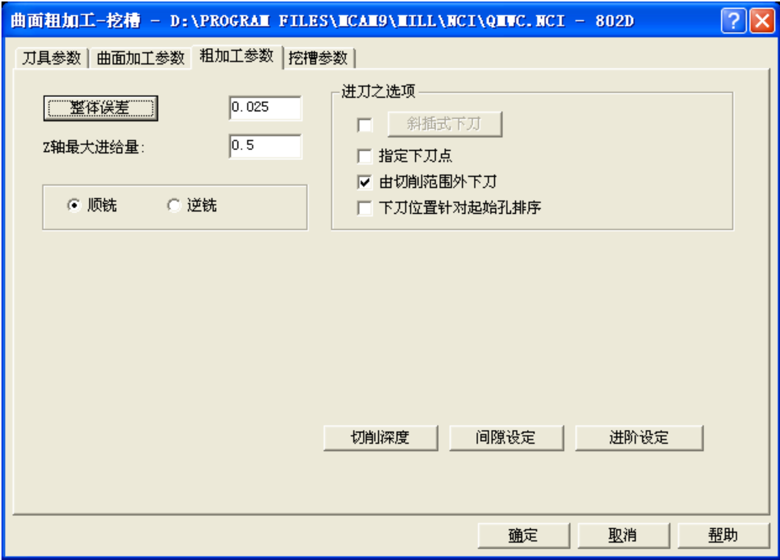


图 1-47　粗加工参数

6）单击“切削深度”，弹出“切削深度的设定”对话框，点选“绝对坐标”，输入最高位置：−0.5、最低位置：−5.0，勾选　“自动调整加工面的预留量”，单击“确定”退出，如图 1-48 所示。

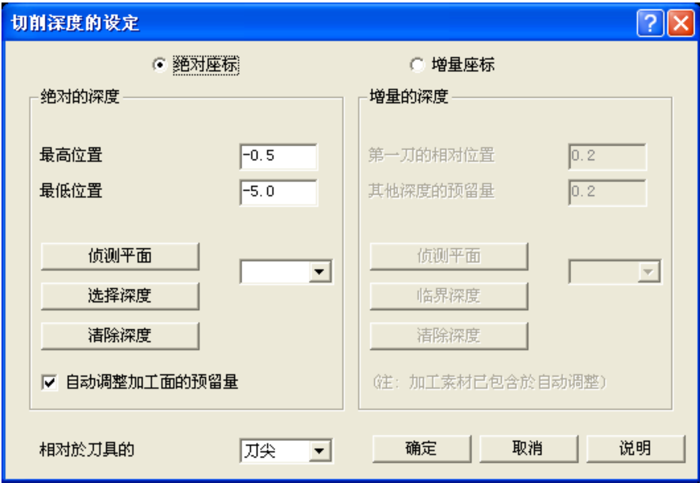


图 1-48　切削深度的设定

7）在“挖槽参数”选项卡中选择“等距环切”，输入切削间距（直径%）：80.0，勾选“精修”，精修间距改为 0.2，其余默认，单击“确定”退出，如图 1-49 所示。

8）刀具路径如图 1-50 所示，实体切削验证如图 1-51 所示。将本例保存为“曲面挖槽.mc9”文件。



图 1-49　挖槽参数

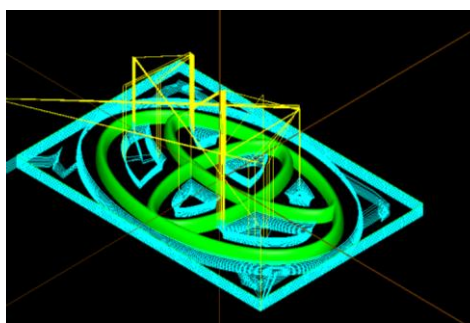


图 1-50　曲面挖槽刀具模拟路径

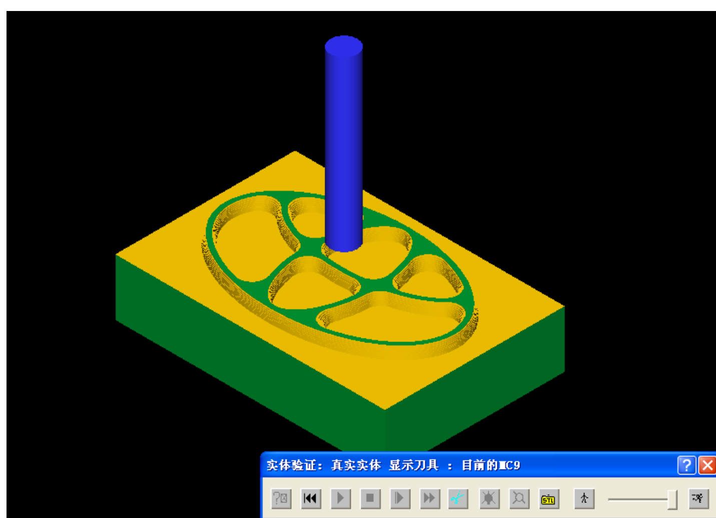


图 1-51　曲面挖槽实体切削验证



注：

本例主要用来说明曲面挖槽加工的过程。在封闭材料的内部挖槽，本例采用的是 2 刃立铣刀（键槽铣刀）垂直下刀，没有勾选“螺旋式下刀”，而且下刀速率设定为 200.0，主要是因内部空间较小，在采用螺旋式下刀或斜插式下刀时会有部分刀具路径失败。

例 1-9：残料粗加工

操作步骤如下：

1）打开“曲面挖槽.mc9”文件，在主菜单区单击“刀具路径”“操作管理员”，单击鼠标右键，选择“刀具路径”“曲面粗加工”“残料加工”，选择所有的曲面，单击“执行”。

2）弹出“曲面残料粗加工”对话框，从刀库中选择直径为 5mm 的平刀，输入进给率：800.0、下刀速率：200.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 1-52 所示。



图 1-52　曲面残料粗加工刀具参数

3）“曲面加工参数”选项卡与例 1-8 相同，详见图 1-46。在“残料加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.3、步进量：2.0，切削深度参数与例 1-8 相同，其余默认，如图 1-53 所示。

4）“剩余材料参数”选项卡默认，如图 1-54 所示。

5）在“操作管理员”对话框，如果有错误，可以勾选所要求修改的操作，单击“重新计算”。单击“全选”“实体切削验证”，可以进行实体切削验证，如图 1-55 所示。将本例保存为“残料挖槽.mc9”文件。

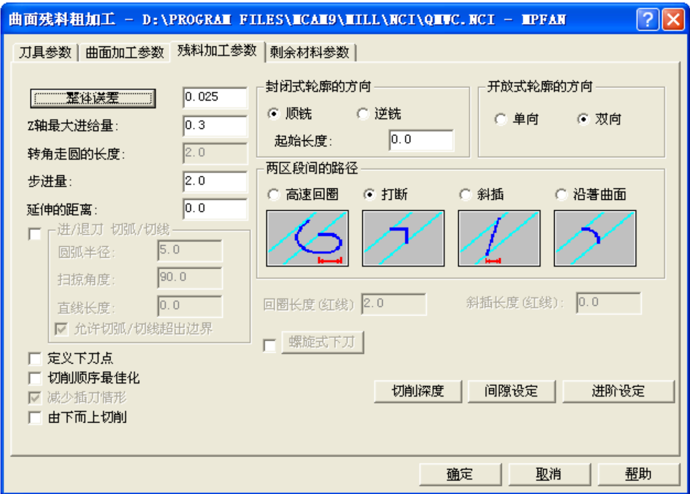


图 1-53 残料加工参数

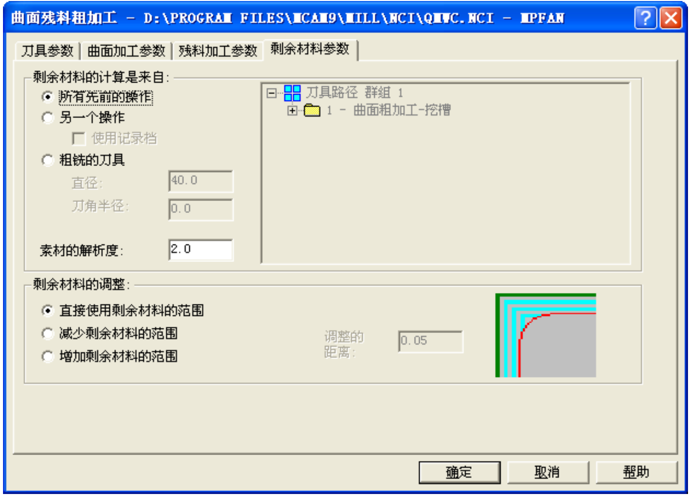


图 1-54 剩余材料参数

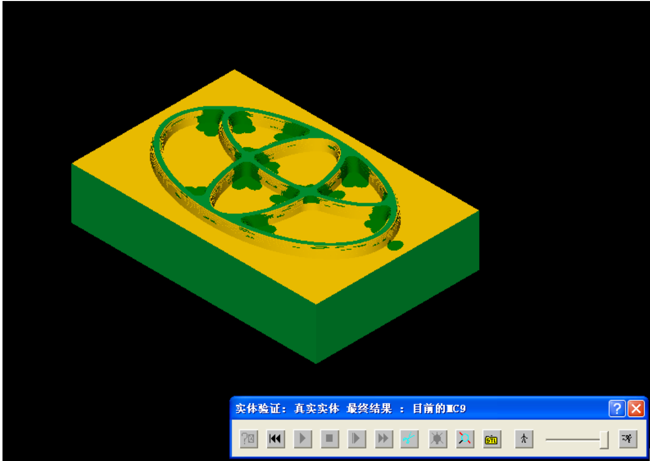


图 1-55 残料粗加工实体切削验证

1.2.6　曲面精加工

曲面精加工用来去除粗加工后余留下的残料。对不同形状和要求的零件，系统提供了 10 种曲面精加工方法，与曲面粗加工共有的是平行铣削、放射状加工、投影加工、流线加工和等高外形。这几种方式的曲面粗加工和精加工的主要不同点在于选择刀具的不同，粗加工多用平刀，精加工多用球刀。其对话框界面和参数选项卡基本相同，唯一的区别是对话框名称：一个是“曲面粗加工—××××”，一个是“曲面精加工—××××”。

曲面精加工特有的方式包括 3D 等距、浅平面加工、交线清角、残料清角等。实际加工中比较常用的有等高外形、平行铣削、放射状加工、3D 等距等方式。

例 1-10：等高外形精加工

等高外形（Contour）精加工是沿着零件轮廓等高加工，然后在 Z 轴方向步进，一层一层向下切削。

操作步骤如下：

1）打开文件“曲面挖槽.mc9”，在主菜单区单击“刀具路径”“操作管理员”，单击鼠标右键，选择“刀具路径”“曲面精加工”“等高外形”，选择所有的曲面，单击“执行”。

2）弹出“曲面精加工—等高外形”对话框，从刀库中选择直径为 3mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：3000，冷却液：喷油，如图 1-56 所示。



图 1-56　曲面精加工—等高外形刀具参数

3）在“曲面加工参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增

量坐标”，干涉的曲面/实体预留量：0.0，刀具的切削范围选择与例 1-8 相同，其余默认，如图 1-57 所示。

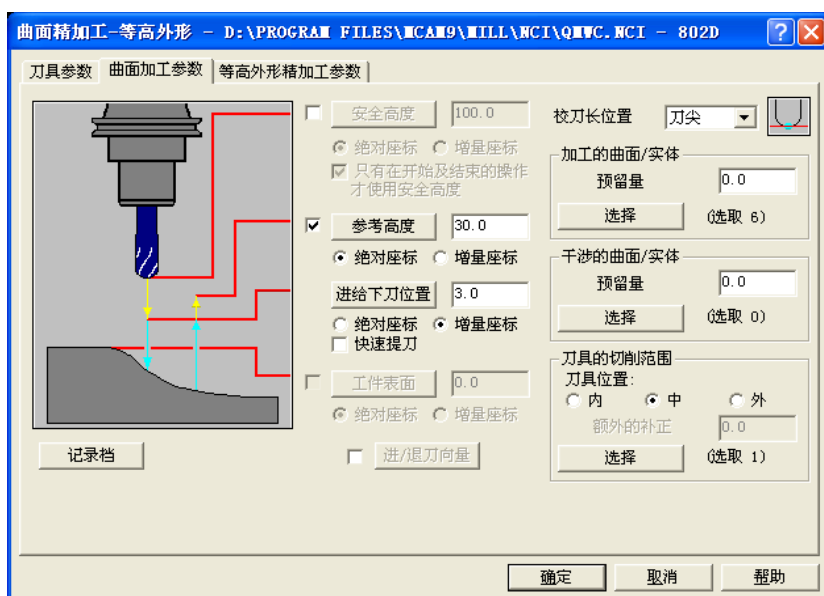


图 1-57　曲面加工参数

4）在“等高外形精加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.2，切削深度参数与例 1-8 相同，其余默认，如图 1-58 所示。

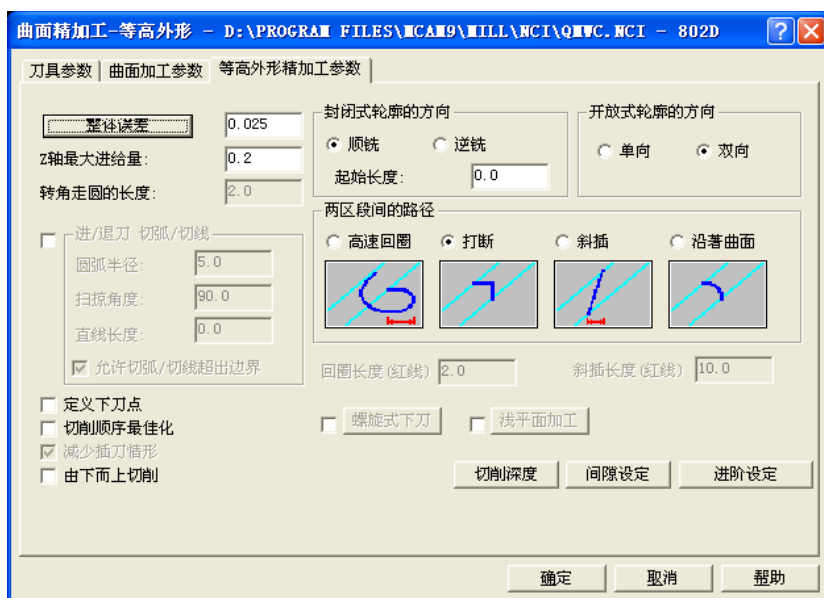


图 1-58　等高外形精加工参数

5）在“操作管理员”对话框，单击“全选”“实体切削验证”，实体切削验证如图 1-59 所示。将本例保存为“等高外形.mc9”文件。

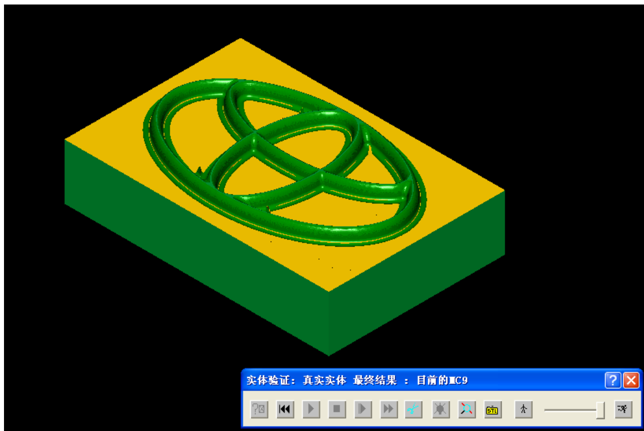


图 1-59　等高外形精加工实体切削验证



注：

本例主要用来说明等高外形精加工的过程。一般来讲，等高外形多用在半精加工上，也可以作为最后一道精加工工序。在半精加工中，等高外形既可以采用平刀粗加工，也可以采用球刀精加工。

例 1-11：平行铣削精加工

平行铣削精加工（Parallel Finish）是沿着曲面形状进行轨迹运动的刀具路径，是曲面精加工中应用最广泛的一种加工方式。

操作步骤如下：

1）打开文件“曲面挖槽.mc9”，在主菜单区单击“刀具路径”“操作管理员”，单击鼠标右键，选择“刀具路径”“曲面精加工”“平行铣削”，选择所有的曲面，单击“执行”。

2）弹出“曲面精加工—平行铣削”对话框，从刀库中选择直径为 3mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：3000，冷却液：喷油，如图 1-60 所示。



图 1-60　曲面精加工—平行铣削刀具参数

3）“曲面加工参数”选项卡的设定与例 1-10 等高外形的曲面精加工参数相同。

4）在“平行铣削精加工参数”选项卡中输入最大切削间距：0.2、加工角度：45.0，勾选“限定深度”，其余默认，如图 1-61 所示。



图 1-61　平行铣削精加工参数

5）单击“限定深度”，弹出“限定深度”对话框，选择相对于刀具的“刀尖”，输入最高位置：0.0、最低位置：−5.0，如图 1-62 所示。

6）在“平行铣削精加工参数”选项卡中单击“间隙设定”，弹出“刀具路径的间隙设定”对话框。在对话框中“容许的间隙”点选“距离”，勾选“切削顺序最佳化”，其余默认，如图 1-63 所示。

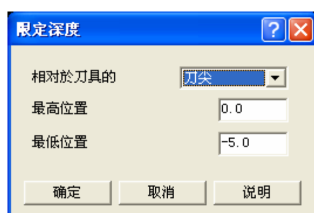


图 1-62　限定深度

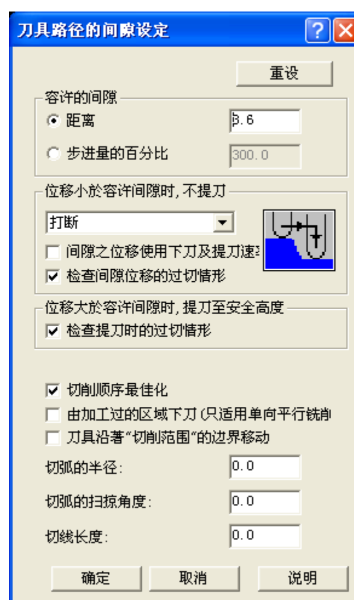


图 1-63　刀具路径的间隙设定

7）在“操作管理员”对话框中单击“全选”“实体切削验证”，实体切削验证如图 1-64 所示。将本例保存为“平行铣削.mc9”文件。

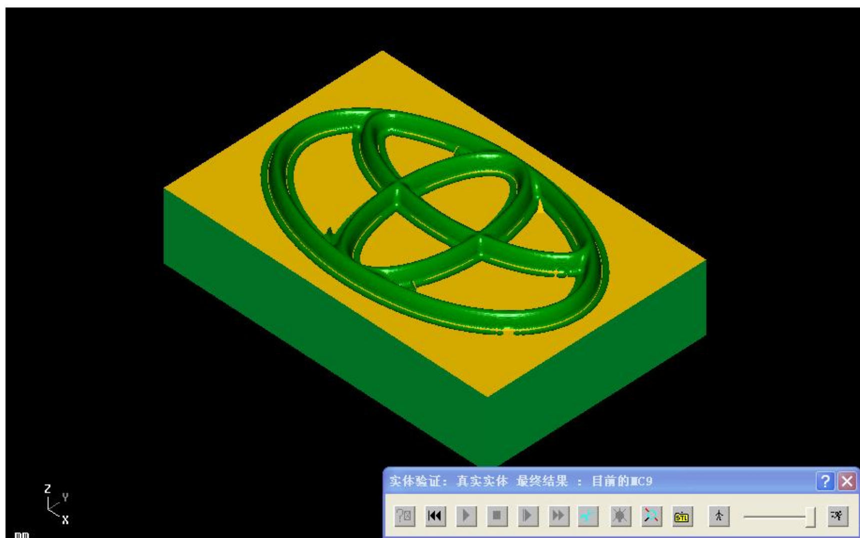


图 1-64　平行铣削实体切削验证



注：

本例主要用来说明平行铣削精加工的过程。一般来讲，平行铣削精加工多用在精加工的最后一道工序上，是应用最广泛的曲面精加工方式，加工的预留量多设为 0。在平行铣削精加工中，加工角度多为 45°、135°、90°、0°等几种情况。

例 1-12：放射状加工

放射状（Radial）曲面加工主要用于加工具有中心对称图形的零件，刀具从零件的对称中心点向外边缘作双向切削，在 0°～360°范围内作放射状零件加工。

操作步骤如下：

1）打开文件“曲面挖槽.mc9”，在主菜单区单击“刀具路径”“操作管理”，单击鼠标右键，选择“刀具路径”“曲面精加工”“放射状加工”，选择所有的曲面，单击“执行”。

2）弹出“曲面精加工—放射状”对话框，“刀具参数”与“曲面加工参数”选项卡的设定与例 1-10、例 1-11 相同。

3）在“放射状精加工参数”选项卡中输入最大角度增量：0.5、起始角度：0.0、扫掠角度：360.0、起始补正距离：0.0，勾选“限定深度”，“限定深度”与“间隙设定”对话框参数设定与例 1-11 相同，其余默认，如图 1-65 所示。

4）在“操作管理员”对话框，单击“曲面精加工—放射状”“刀具路径模拟”，可以进行放射状加工的刀具路径模拟，如图 1-66 所示。实体切削验证的效果与例 1-10、例 1-11 相似。将本例保存为“放射状.mc9”文件。

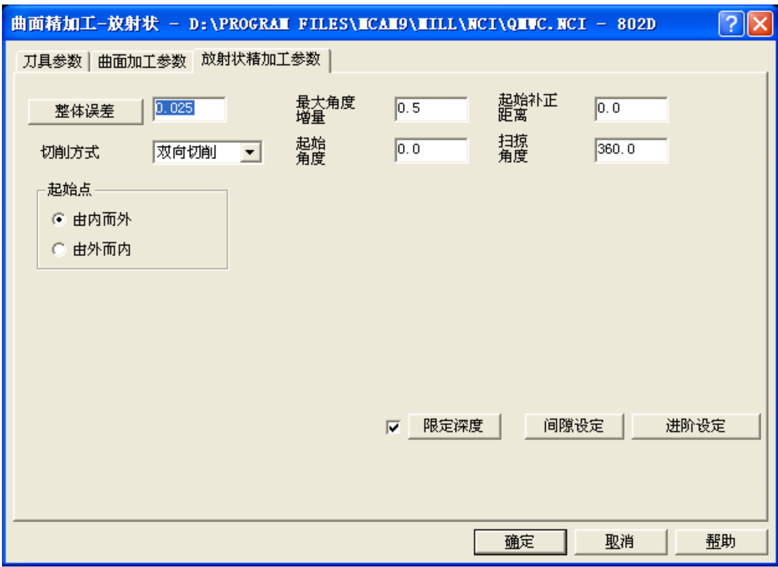


图 1-65　放射状精加工参数

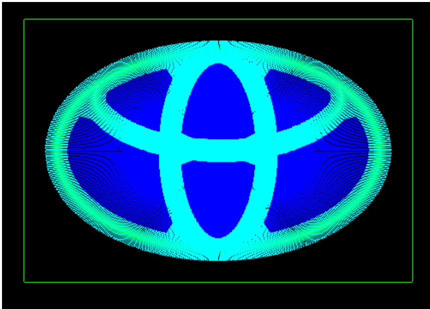


图 1-66　放射状加工刀具路径模拟

例 1-13：投影加工

投影（Project）曲面精加工可以将几何图形或现存的刀具路径投影到被选取的曲面上，通常应用于雕刻图案或文字。

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）在主菜单区依次单击“绘图”“下一页”“文字”，弹出“绘制文字”对话框，如图 1-67 所示。输入文字：广东技术师范学院，高度：15.0，间距：3，单击“真实字型”，选择“华文行楷”，单击“确定”，抓点方式选择“原点（0，0）”，写出文字。

2）在主菜单区依次单击“刀具路径”“工作设定”、设定 X120、Y30、Z80，单击“边界盒”，弹出“绘制边界盒”对话框，参数默认，单击“确认”，绘出刚才文字的边界盒，如图 1-68 所示。

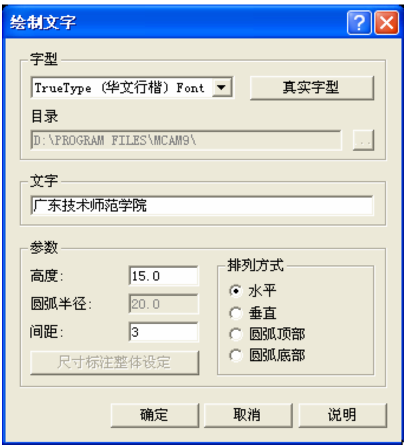


图 1-67　绘制文字

3）在主菜单区依次单击“转换”“平移”，选择“所有的图素”，单击“执行”“两点之间”，从存在的中心点平移到原点，选择“移动”，单击“确定”退出。

4）删除“矩形”串联和“存在的点”，将萤幕视角切换到“前视图”，平移所有图素到 Y50。

5）绘制 120mm×30mm 矩形，抓点方式选择“原点（0，0）”。

6）返回主功能表，单击“绘图”“曲面”“曲面修整”“平面修整”“串联”，选择刚才绘制的矩形，建立平面，将萤幕视角切换到“等角视图”，如图 1-69 所示。

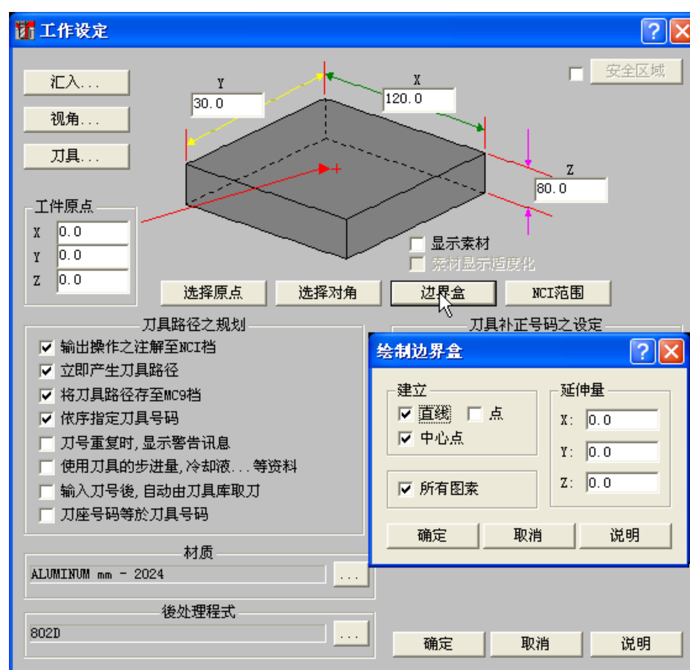


图 1-68　边界盒设定

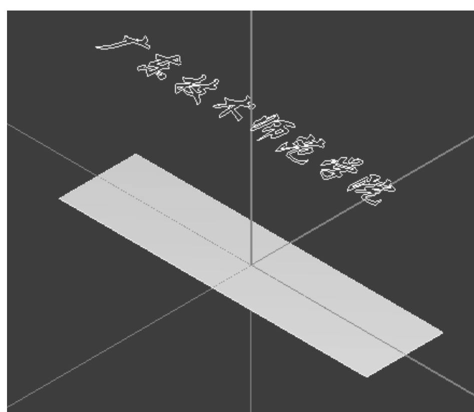


图 1-69　投影加工的 CAD 建模

步骤二　投影加工

1）在主菜单区单击“刀具路径”“曲面加工”“精加工”“投影加工”，选择“刚才的平面”，单击“执行”。

2）弹出“曲面精加工—投影”对话框，从刀库中选择直径为 3mm 的球刀，输入进给率：600、下刀速率：300、提刀速率：2000、主轴转速：3000，冷却液：喷油。

3）在“曲面加工参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，加工的曲面/实体预留量：−0.1，如图 1-70 所示。

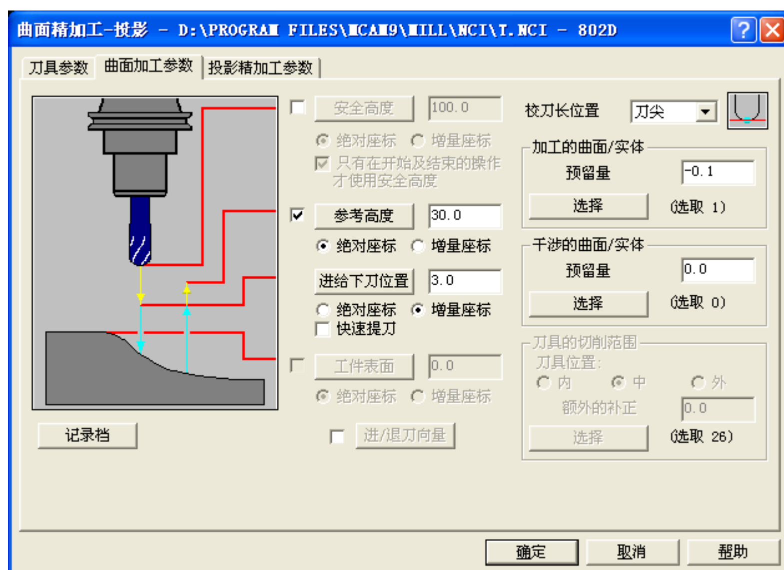


图 1-70　投影加工曲面参数

4）在“投影精加工参数”选项卡“投影方式”点选“曲线”，勾选“两切削间提刀”，单击“确定”，用矩形框或多边形框选择刚才所写的文字，单击“执行”，抓点方式选择“原点（0，0）”，单击“执行”，如图 1-71 所示。



图 1-71　投影精加工参数

5）实体切削验证如图 1-72 所示。将本例保存为“投影加工.mc9”文件。

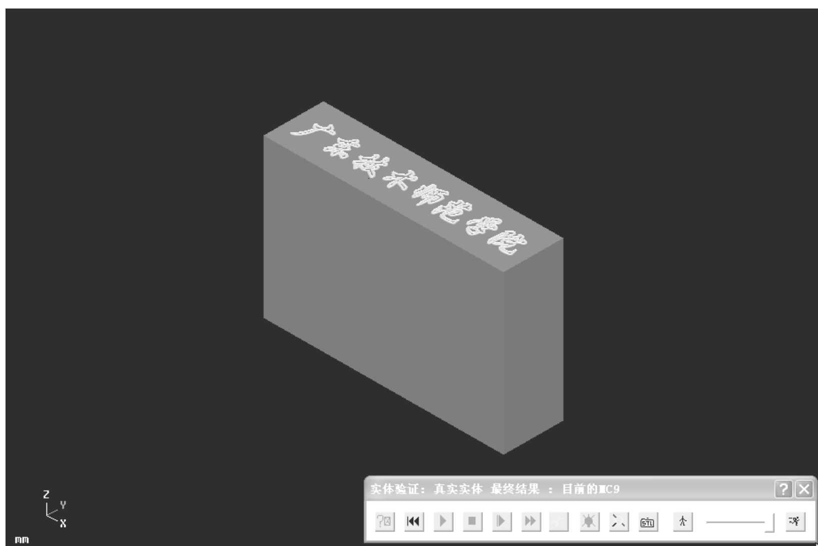


图 1-72　投影加工实体切削验证


注：

本例主要用来说明投影精加工的过程。文字投影加工的难点在于设定文字的大小和摆放的位置，需要通过边界盒来控制文字的整体效果。

例 1-14：陡斜面加工

在平行铣削曲面精加工中，平行铣削在陡斜面处的刀具路径间距较大，表面粗糙度值大，会留有少量残料。陡斜面（Steep）加工主要用于清除工件较陡斜区域的残料。

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）将萤幕切换到侧视图，在主菜单区依次单击“绘图”“圆弧”“点半径圆”，在系统提示区输入半径：15，回车，抓点方式选择“原点（0，0）”，绘出半径为 15mm 的圆。

2）将萤幕切换到等角视图，在主菜单区依次单击“实体”“挤出”“串联”，选择刚才的圆作为串联图素，单击“执行”两次，弹出“实体挤出的设定”对话框，如图 1-73 所示。

3）输入距离：30，勾选“两边同时延伸”，单击“确定”，产生实体圆柱，用 Alt+S 快捷键进行渲染。

4）将萤幕切换到俯视图，绘出 80mm×60mm 矩形，抓点方式选择“原点（0，0）”。

5）返回上层功能，依次单击“曲面”、“曲面修整”、“平面修整”、“串联”，选择刚才绘制的矩形，单击“执行”两次，建立平面。

6）在主菜单区依次单击“实体”“下一页”“修整”“执行”“选取平面”“XY 平面”，输入平面的 Z 坐标：0，单击“执行”，将平面下部分的圆柱实体切割掉。

7）在主菜单区依次单击“绘图”“曲面”“下一页”“由实体产生”，用鼠标选择刚才的实体，单击“执行”，生成由实体转化的曲面，同时删除该圆柱实体。CAD 模型如图 1-74 所示。

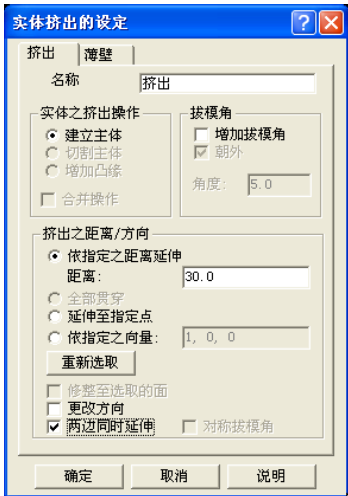


图 1-73　实体挤出设定

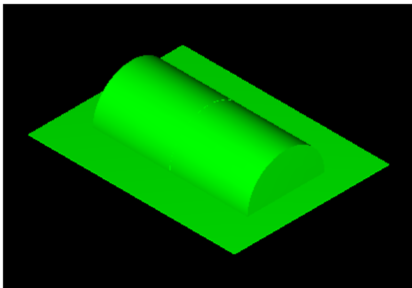


图 1-74　陡斜面加工 CAD 模型

步骤二　陡斜面加工

1）在主菜单区单击“刀具路径”“曲面加工”，将加工面方式改为：S，CAD 档改为：N，干涉面改为：S，定义范围改为：Y，如图 1-75 所示。

2）本例加工分为 3 道工序。第一步：曲面挖槽，预留量 0.3；第二步：平行铣削，预留量 0；第三步：陡斜面加工，预留量 0。其中，第一步和第二步方法与前几例基本相同，不同的是“第二步—平行铣削”采用加工面和干涉面的方法来实现，加工工序如图 1-76 所示。

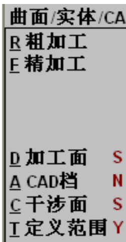


图 1-75　加工方式选择

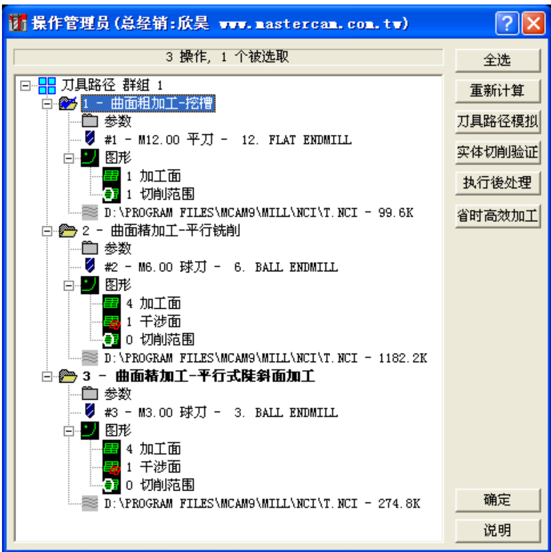


图 1-76　陡斜面加工操作管理员

3）陡斜面加工刀具参数：从刀库中选择直径为 3mm 的球刀，输入进给率：400.0、下刀速率：200.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：3000，冷却液：喷油，如图 1-77 所示。

4）在“曲面加工参数”选项卡设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，如图 1-78 所示。加工的曲面/实体选择半个圆柱体的全部 4 个面，预留量：0.0，如图 1-79 左图所示；

干涉的曲面/实体选择矩形平面，预留量：0.0，如图 1-79 右图所示。

5）在“陡斜面精加工参数”选项卡中输入最大切削间距：0.2，切削方式：双向切削，切削方向延伸量：0.3，加工角度：90.0，陡斜面的范围：由倾斜角度 50.0 至倾斜角度 90.0，如图 1-80 所示。

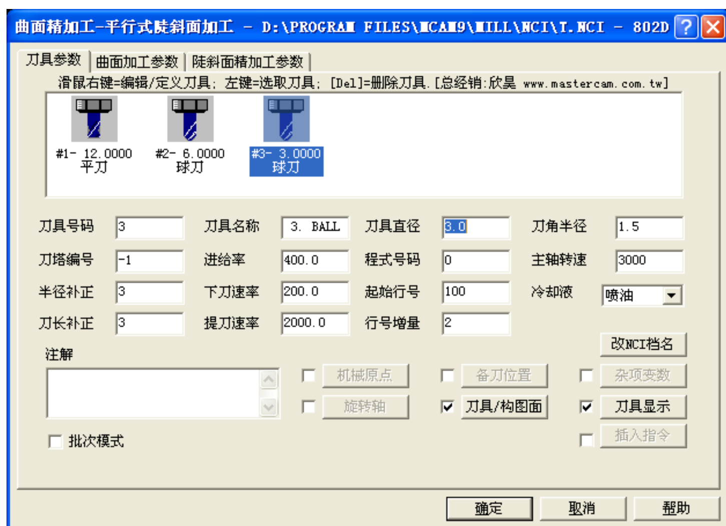


图 1-77　陡斜面加工刀具参数

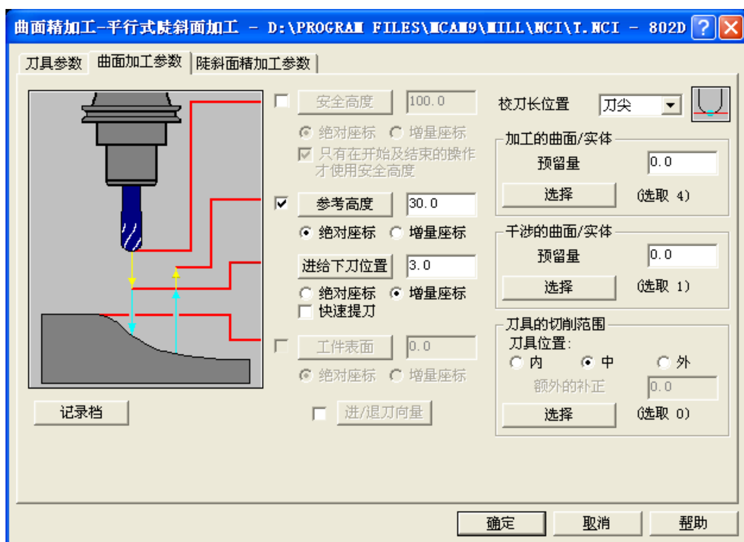


图 1-78　陡斜面加工曲面加工参数

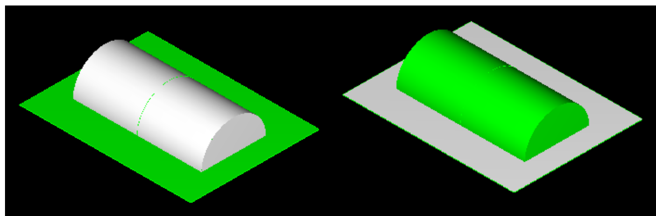


图 1-79　加工面与干涉面的选择

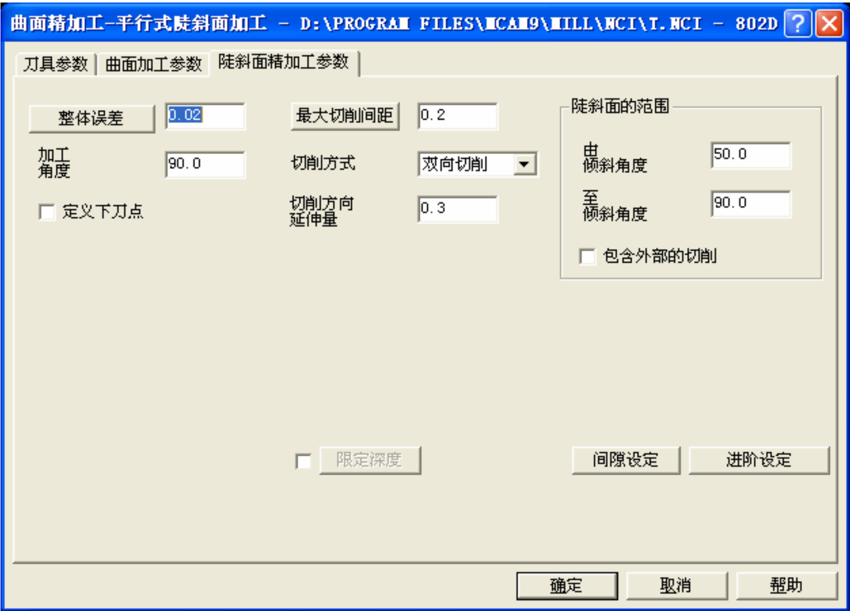


图 1-80　陡斜面精加工参数

6）单击“整体误差”按钮，设定过滤的比率：1:1，设定整体的误差：0.02，单击“确定”退出，如图 1-81 所示。陡斜面精加工刀具路径如图 1-82 所示。将本例保存为“陡斜面.mc9”文件。

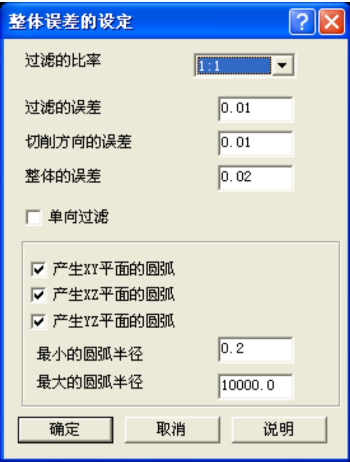


图 1-81　整体误差的设定

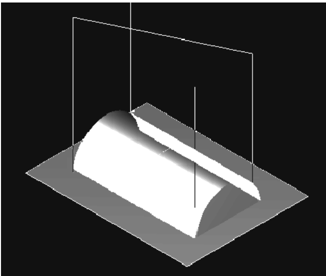


图 1-82　陡斜面精加工刀具路径



注：

加工面有 S、A、N 三种选择：S 表示要求使用者手动选取加工面，A 表示将所有曲面自动选择为加工面，N 表示不选取加工面。

CAD 挡有 Y、N 两种选择：Y 表示选取 CAD 文件，N 表示不选取 CAD 文件。

干涉面有 N、S、U 三种选择：N 表示不选取干涉面，S 表示要求使用者选取干涉面，U 表示将尚未选取的曲面设为干涉面。

定义范围有 Y、N 两种选择：Y 表示要求使用者手动选取切削范围，N 表示不定义加工范围。

实际加工中，既可以采用加工曲面/实体和限定深度、选取加工范围的方法来加工，也可以选择加工曲面/实体和干涉曲面/实体的方法来实现。

整体误差主要用来控制生成刀具路径的精度，设定过滤比率为 1:1 可以有效地保证生成的刀具路径文件量较小。

例 1-15：浅平面加工

浅平面（Shallow）加工用来加工工件浅平面区域时由曲面等高外形精加工所产生的残料。由于等高外形加工采用相同的 Z 深度加工，在浅平面区域，切削路径在平面上的间距较大，零件加工的表面粗糙度值大，会产生残料。

操作步骤如下：

1）打开文件“陡斜面.mc9”，在“操作管理员”对话框中单击“平行铣削”和“陡斜面加工”，单击鼠标右键将其删除。

2）新建“等高外形精加工”，选择直径为 6mm 的球刀，刀具参数、曲面加工参数、加工面和干涉面的选择与例 1-14“平行铣削”相同。等高外形精加工参数输入 Z 轴最大进给量：0.3，其余默认，单击“确定”退出。

3）新建“曲面精加工—浅平面加工”，选择直径为 3mm 的球刀，刀具参数、曲面加工参数、加工面和干涉面的选择与例 1-14“陡斜面”相同。

4）在“浅平面精加工参数”选项卡中输入最大切削间距：0.2，切削方式：双向切削，切削方向延伸量：0.2，加工角度：45.0，浅平面的范围：由倾斜角度 0.0 至倾斜角度：20.0，如图 1-83 所示。单击“整体误差”，设定过滤比率：1:1，整体误差：0.02。

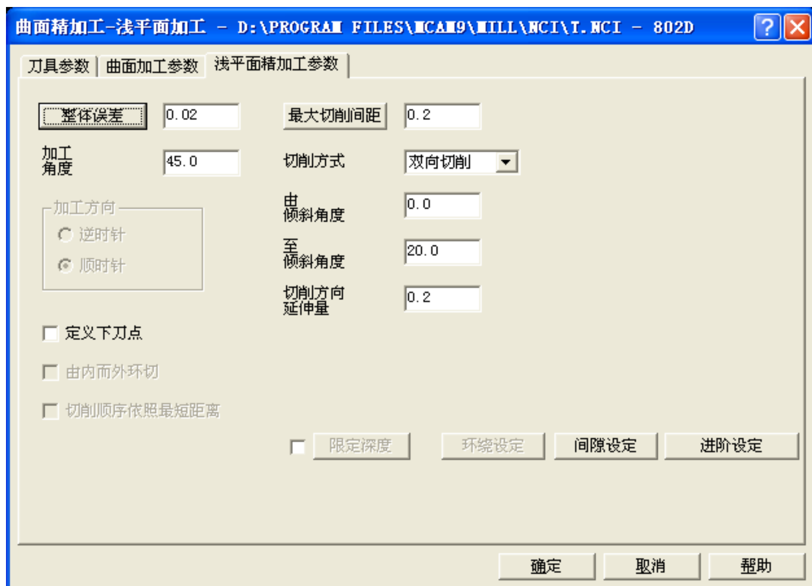


图 1-83 浅平面精加工参数

5）浅平面精加工刀具路径如图 1-84 所示。将本例保存为“浅平面.mc9”文件。

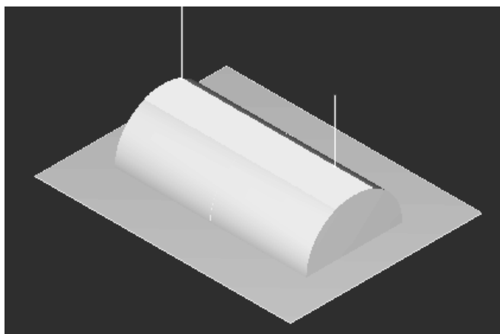


图 1-84 浅平面精加工刀具路径

例 1-16：3D 等距加工

3D 等距精加工（Scallop）是刀具沿着工件做环绕运动，与平行铣削一样，多用做曲面精加工的最后一道工序。

操作步骤如下：

1）打开文件“平行铣削.mc9”，在“操作管理员”对话框中单击“平行铣削”，单击鼠标右键将其删除。

2）单击鼠标右键，新建“曲面精加工—环绕等距”，仍然选择直径为 3mm 的球刀，刀具参数、曲面加工参数与**例 1-11** 相同。

3）在“3D 环绕等距加工参数”选项卡中输入最大切削间距：0.2，勾选“限定深度”，如图 1-85 所示。

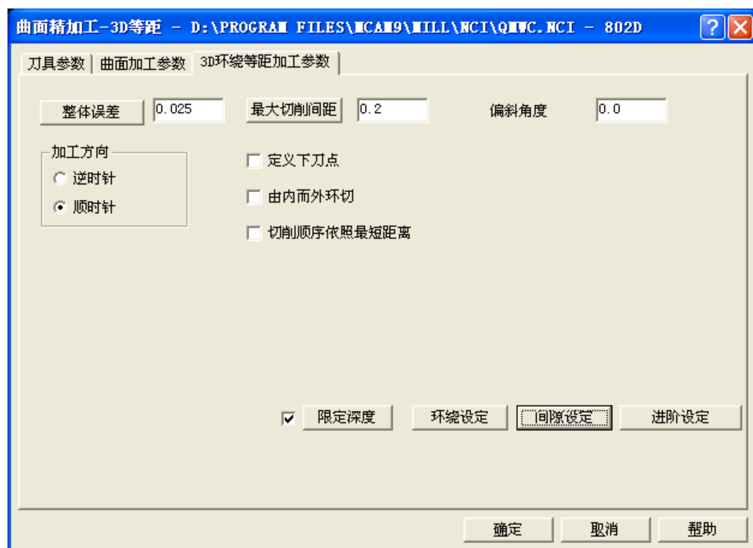
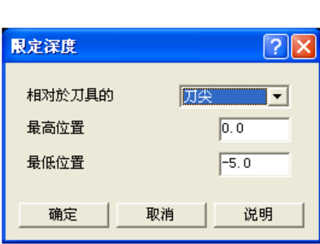


图 1-85 3D 环绕等距加工参数

4）单击“限定深度”和“环绕设定”，参数如图 1-86 所示，间隙设定与**例 1-11** 相同。

5）刀具路径如图 1-87 所示。将本例保存为“3D 等距.mc9”文件。



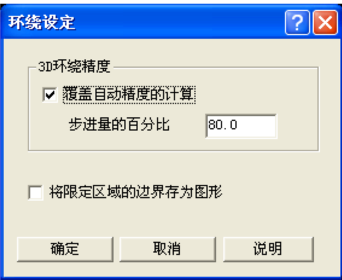


图 1-86 限定深度和 3D 环绕精度参数

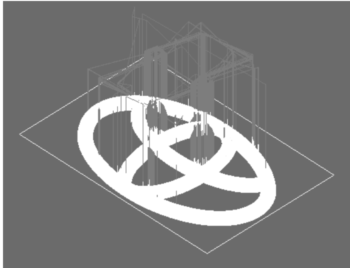


图 1-87 3D 环绕等距刀具路径

例 1-17：曲面流线加工

曲面流线（Flowline）精加工是沿着曲面流线方向生成光滑和流线型的刀具路径。这种加工方法是早期单一曲面加工方法的改良，只能应用于纹路相同的多个相邻曲面的加工。在整体零件上用此方法进行加工时，要注意是否合适，容易产生过切情形。

操作步骤如下：

步骤一 CAD 建模

1）将萤幕切换到前视图，在主菜单区依次单击“绘图”“曲线”“手动”，在系统提示区依次输入 X-40 Y0、X-20 Y-5、X0 Y-2、X20 Y-3、X40 Y-5，回车，绘出曲线。

2）将萤幕切换到侧视图，以点 X0 Y0 和 X40 Y0 绘出直线，将萤幕切换到等角视图。

3）单击“绘图”“曲面”“扫描曲面”，以曲线为截断方向外形，直线为引导方向外形，绘出扫描曲面。

4）删除引导直线，单击“绘图”“下一页”“边界盒”，选择所有的图素，产生边界盒。平移所有的图素，使其从存在的中心点移动到原点，删除所有的直线，结果如图 1-88 所示。

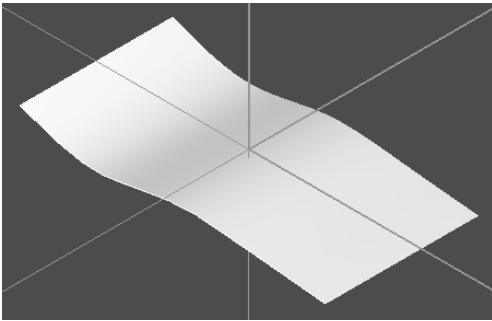


图 1-88 曲面流线 CAD 模型

步骤二 曲面流线加工

1）在主菜单区单击“刀具路径”“曲面加工”“精加工”“流线加工”，选择“刚才的曲面”，单击“执行”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油，如图 1-89 所示。

3）在“曲面加工参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，加工的曲面/实体预留量：0.0，其余默认，如图 1-90 所示。

4）在“曲面流线精加工参数”选项卡中点选截断方向的控制：距离，输入 0.2，切削方式选择：双向切削，其余默认，单击“确定”退出，如图 1-91 所示。

截断方向的控制方式有距离和残脊高度两种。距离是指刀具在截断方向的间距按照绝对距离计算；而残脊高度则是在一个给出的误差范围内，根据曲面的不同形状，系统自动计算出不同的间距增量。

5）在分菜单中设定补正方向朝上，切削方向为沿着曲面纵向，步进方向为前面，起始位置为曲面左侧，单击“执行”，如图 1-92 所示。



图 1-89　流线加工的刀具参数

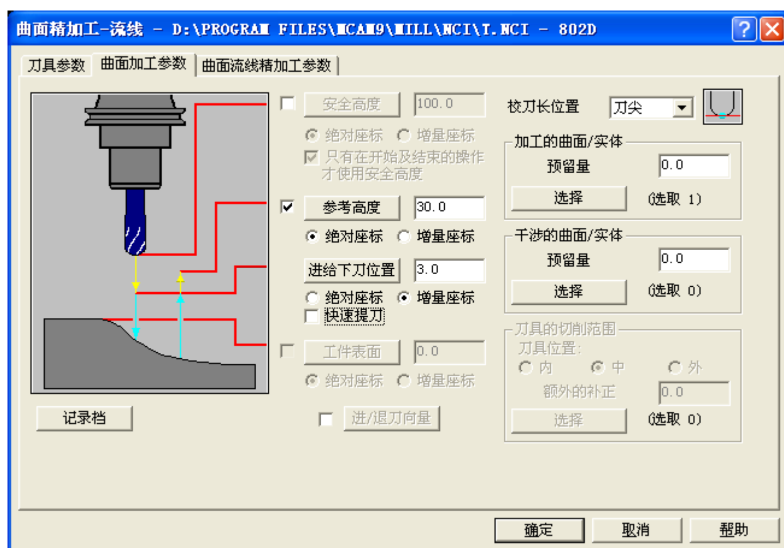


图 1-90　流线加工的曲面加工参数

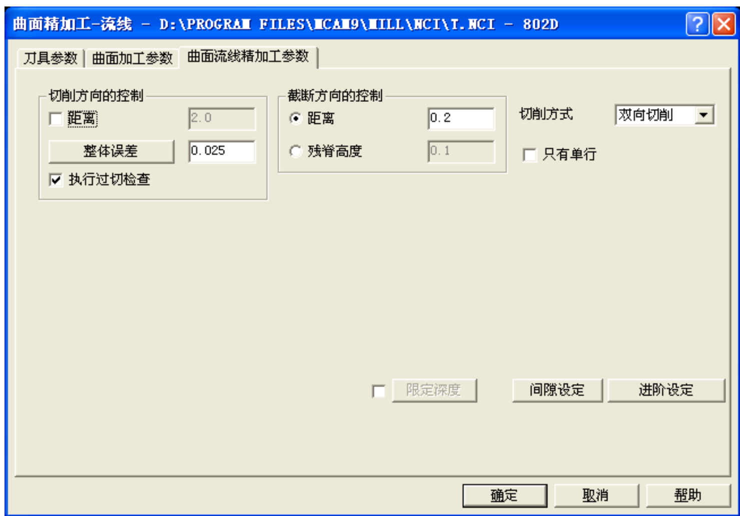


图 1-91　曲面流线精加工参数

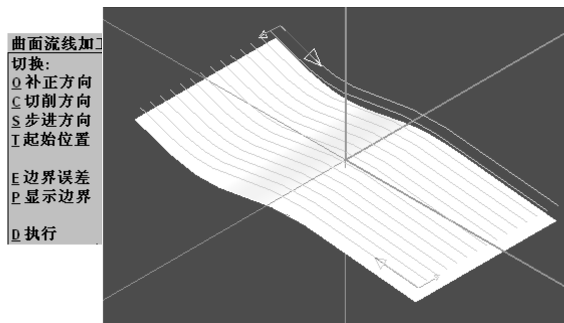


图 1-92　曲面流线精加工方向

6）实体切削验证如图 1-93 所示。将本例保存为“曲面流线.mc9”文件。

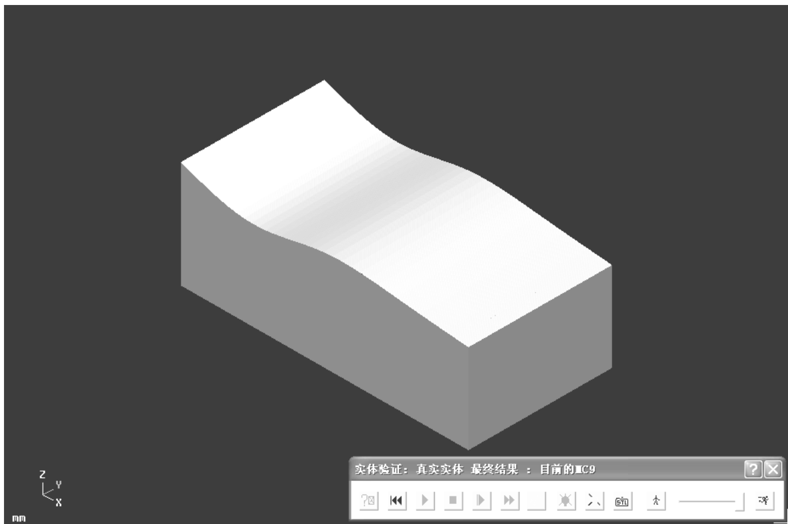


图 1-93　曲面流线精加工实体切削验证

1.2.7　线架构路径加工

Mastercam 中还有一类比较特殊的加工方式，称为线架构路径，包括直纹加工、旋转加工、2D 扫描加工、3D 扫描加工、昆氏加工和举升加工方式。这类加工产生的刀具路径文件比曲面挖槽的数据量小很多，在一些特殊的场合应用较为广泛。

例 1-18：直纹加工

直纹加工是沿着直纹面方向生成光滑和流线型的刀具路径，多用于斜面的加工。

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）将萤幕切换到前视图，设定作图深度 Z-50，以 X-50 Y10 和 X50 Y-10 两点作直线。

2）以复制方式平移该直线，平移距离 Y-100。

3）将构图面切换到空间绘图，连接两端点，如图 1-94 所示。

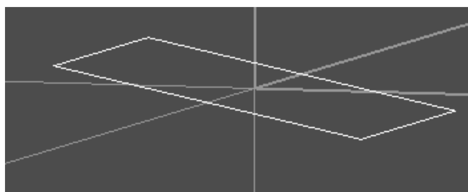


图 1-94　直纹加工建模

步骤二　刀具路径编辑

1）在主菜单区单击“刀具路径”“下一页”“线架构路径”“直纹加工”，选择步骤一的 1）、2）步所绘制的直线，单击“执行”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油，如图 1-95 所示。

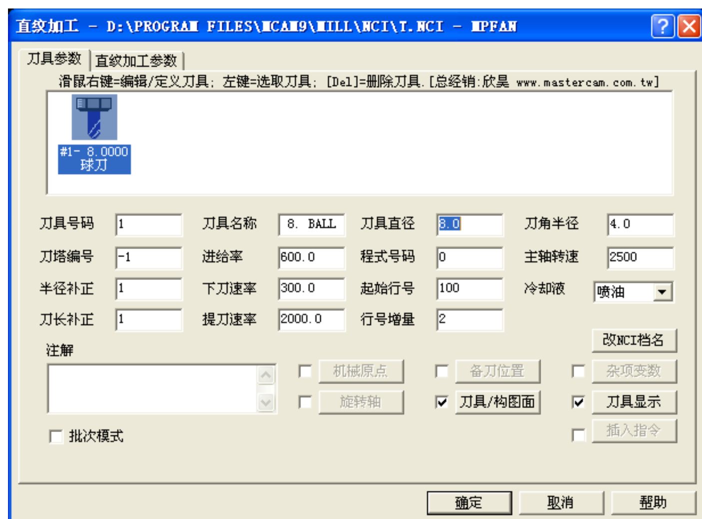


图 1-95　直纹加工的刀具参数

3）在“直纹加工参数”选项卡中点选切削方式：双向，截断方向的切削量：0.2，电脑补正位置：关，其余默认，如图 1-96 所示。实体切削验证如图 1-97 所示。将本例保存为“直纹加工.mc9”文件。

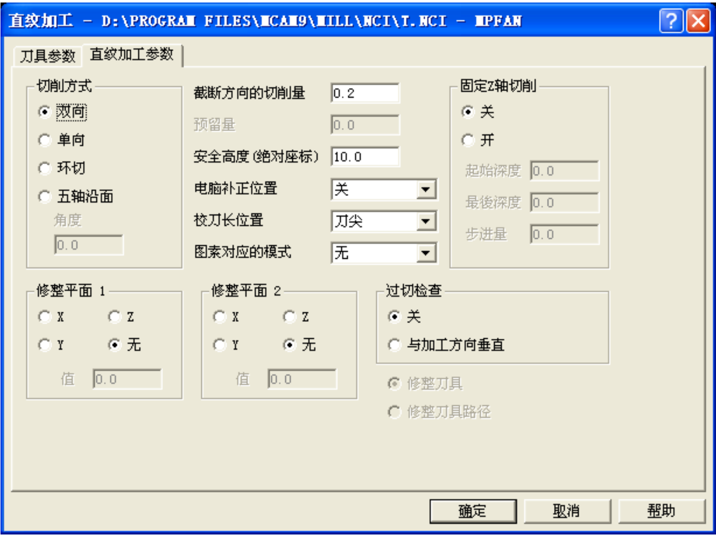


图 1-96　直纹加工参数

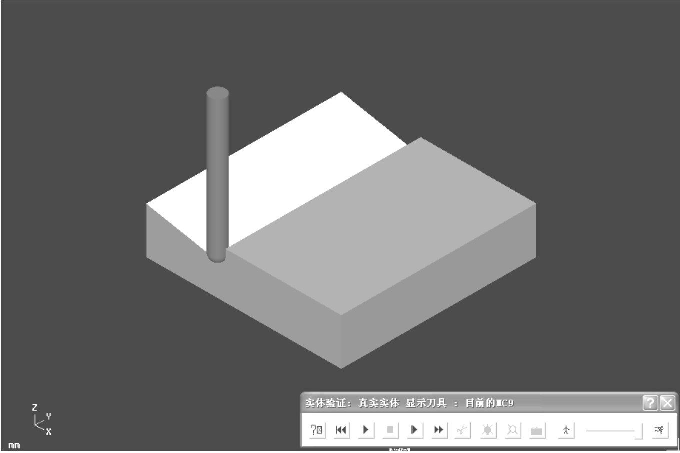


图 1-97　直纹加工实体切削验证

➘ 例 1-19：旋转加工

旋转加工是沿着空间圆弧方向生成光滑和流线型的刀具路径。

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）设定作图深度 Z100，绘制原点，绘制半径为 25 的圆，圆心坐标为 X90 Y0。

2）绘制垂直线 X100，修剪多余的线段，修剪后的图形如图 1-98 所示。

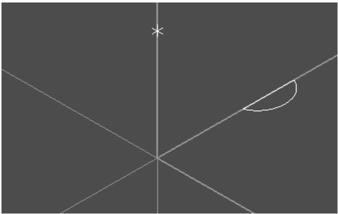


图 1-98　旋转加工建模

步骤二　刀具路径编辑

1）在主菜单区单击“刀具路径”“下一页”“线架构

路径”“旋转加工”，图形选择“弓形”串联，单击“执行”，抓点方式选择“存在点”，选择刚才绘制的“原点”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油。

3）在“旋转加工参数”选项卡中点选型式：凹的，设定参考高度：30.0，进给下刀位置：3.0，步进量：0.2，电脑补正位置：左，旋转轴：Y，轴深（绝对坐标）：110.0，修剪刀具路径至：点选“高度”，设定高度：0.0，其余默认，如图 1-99 所示。工作设定 X100 Y80 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 1-100 所示。将本例保存为“旋转加工.mc9”文件。

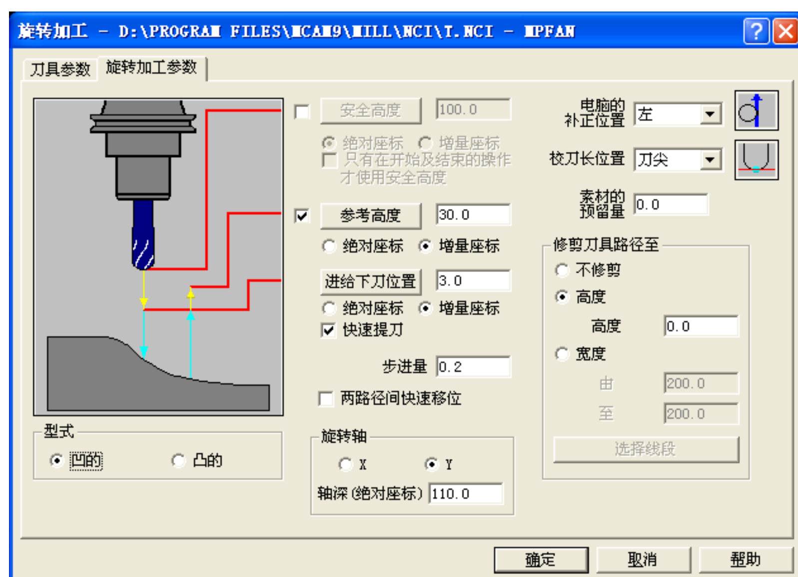


图 1-99　旋转加工参数

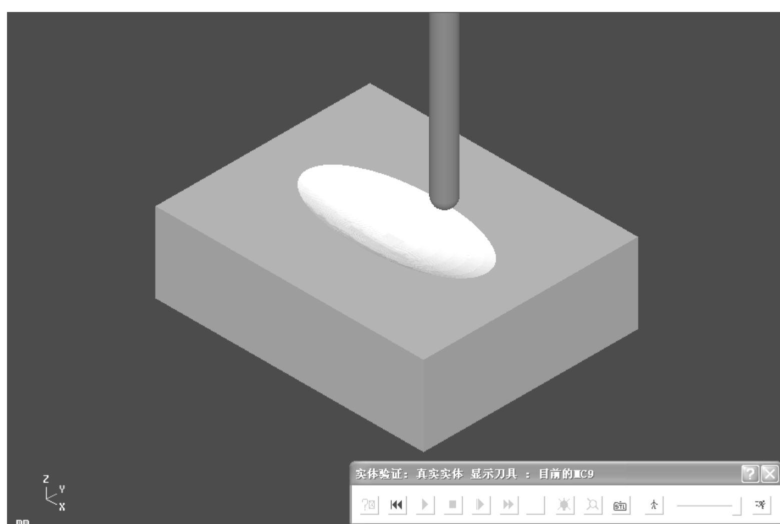


图 1-100　旋转加工实体切削验证

例 1-20：2D 扫描加工

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）将萤幕切换到前视图，以 X−40 Y0、X−20 Y5、X0 Y0 三点画弧，以 X0 Y0、X20 Y−5、X40 Y0 三点画弧。

2）将萤幕切换到俯视图，以 X0 Y30、X0 Y−30 两点作直线，图形如图 1−101 所示。

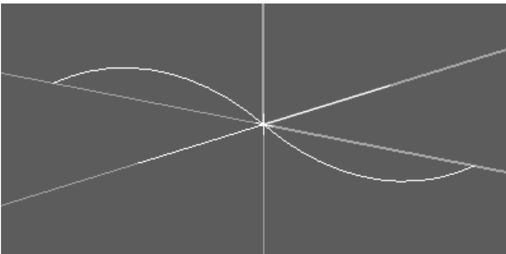


图 1−101　2D 扫描加工建模

步骤二　刀具路径编辑

1）在主菜单区单击“刀具路径”“下一页”“线架构路径”“2D 扫描加工”，截断方向图形选择“2 段圆弧”串联，引导方向图形选择“直线”，单击“执行”，抓点方式选择“交点”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2 500，冷却液：喷油。

3）在“2D 扫描加工参数”选项卡中设定截断方向的切削量：0.2，预留量：0.0，其余默认，如图 1−102 所示。工作设定 X70 Y50 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 1−103 所示。将本例保存为“2D 扫描加工.mc9”文件。

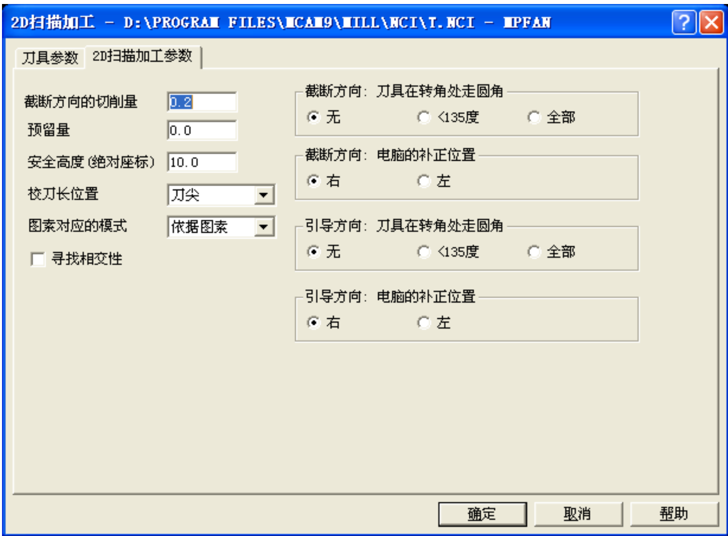


图 1−102　2D 扫描加工参数

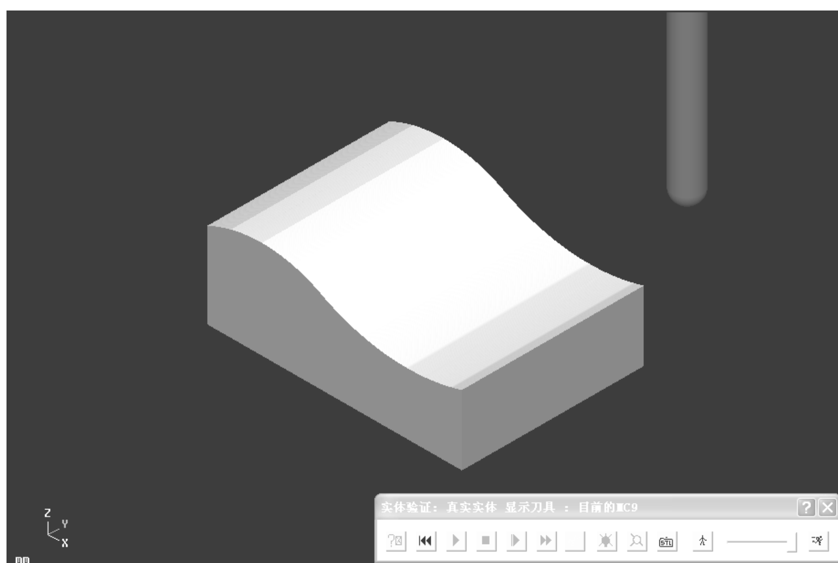


图 1-103 2D 扫描加工实体切削验证

例 1-21：3D 扫描加工

操作步骤如下：

步骤一 CAD 建模

1）将萤幕切换到前视图，以 X-40 Y0、X-20 Y5、X0 Y0 三点画弧，以 X0 Y0、X20 Y-5、X40 Y0 三点画弧。

2）将萤幕切换到侧视图，设定作图深度 Z-40，以原点作直径为 25mm 的圆，然后修剪成半圆弧，如图 1-104 所示。

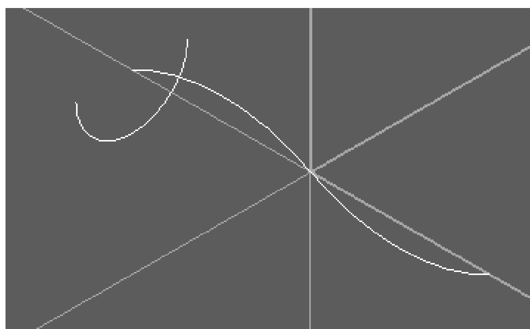


图 1-104 3D 扫描加工建模

步骤二 刀具路径编辑

1）在主菜单区单击“刀具路径”“下一页”“线架构路径”“3D 扫描加工”，默认截断方向外形数量：1，回车，图形选择“半圆弧”串联，引导方向图形选择“波浪线”串联，单击“执行”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油。

3）在“3D 扫描加工参数”选项卡中设定引导方向的切削量：0.2，截断方向的切削量：0.2，切削方式：双向，预留量：0.0，电脑补正位置：右，加工的方向点选“截断方向”，旋转/平移点选“平移截断面外形”，其余默认，如图 1-105 所示。工作设定 X80 Y60 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 1-106 所示。将本例保存为“3D 扫描加工.mc9”文件。

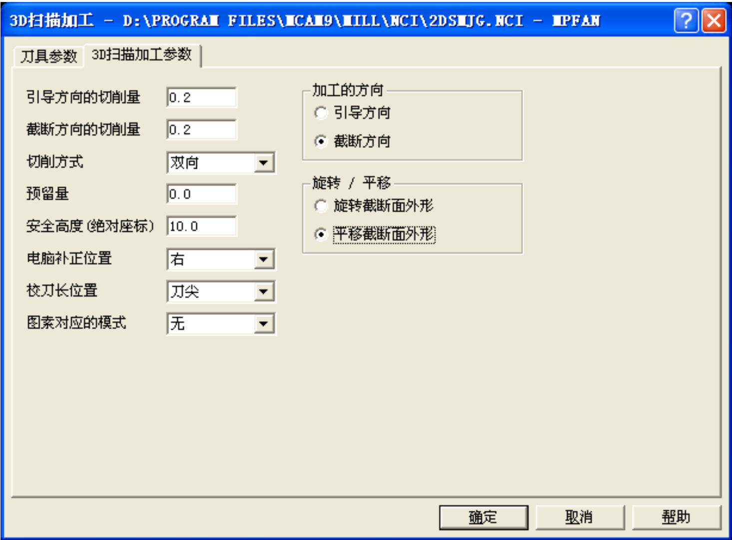


图 1-105 3D 扫描加工参数

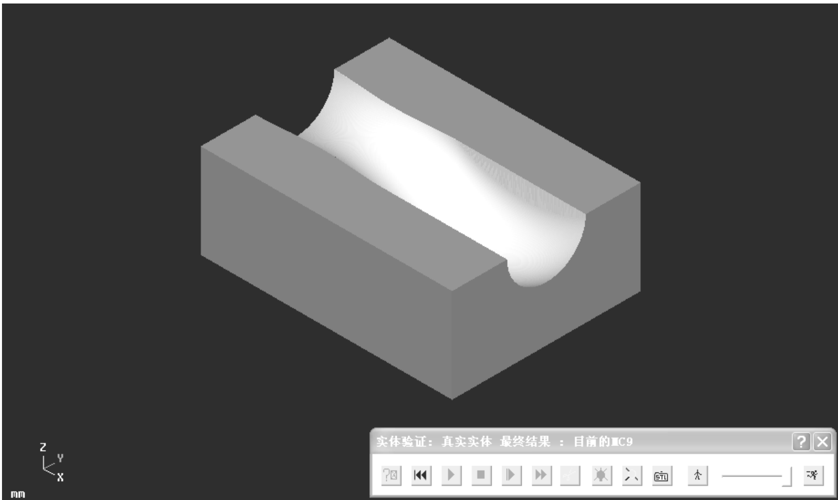


图 1-106 3D 扫描加工实体切削验证

例 1-22：昆氏加工

操作步骤如下：

步骤一 CAD 建模

1）以 X-10 Y30、X-10 Y-30 两点画弧，半径为 70mm；以 X10 Y30、X10 Y-30 两点

画弧，半径为 100mm。

2）将萤幕切换到前视图，设定作图深度 Z−30，以两段圆弧端点画弧，半径为 15mm。

3）设定作图深度 Z30，同样以圆弧端点画弧，半径为 20mm，完成后的图形如图 1−107 所示。

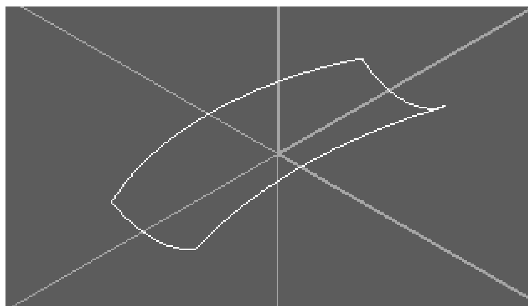


图 1−107　昆氏加工建模

步骤二　刀具路径编辑

1）在主菜单区单击“刀具路径”“下一页”“线架构路径”“昆氏加工”，默认切削方向的缀面数目：1，回车，截断方向的缀面数目：1，回车，选择方式“单体”，依次选择截断方向和引导方向的图形，单击“执行”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油。

3）在“昆氏加工参数”选项卡中设定引导方向的切削量：0.2，截断方向的切削量：0.2，切削方式：双向，预留量：0.0，电脑补正位置：左，加工的方向：点选“截断方向”，其余默认，如图 1−108 所示。工作设定 X80 Y60 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 1−109 所示。将本例保存为“昆氏加工.mc9”文件。

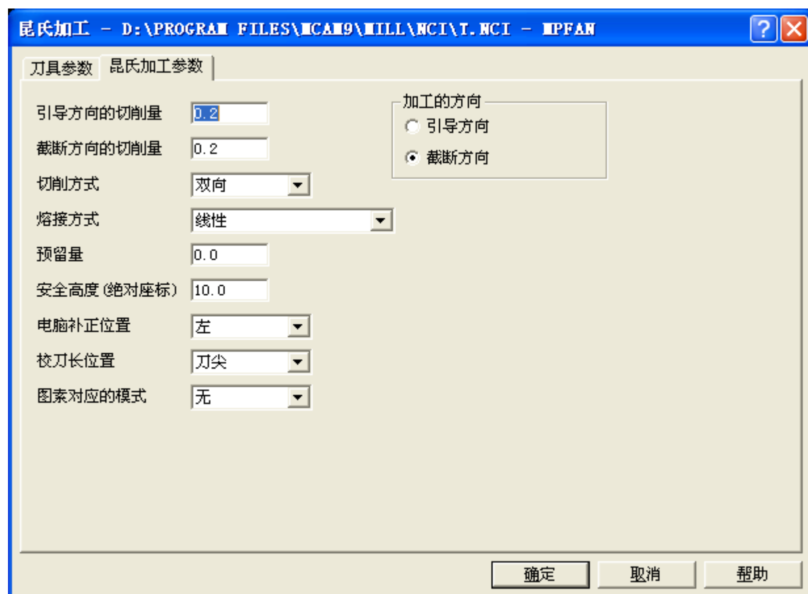


图 1−108　昆氏加工参数

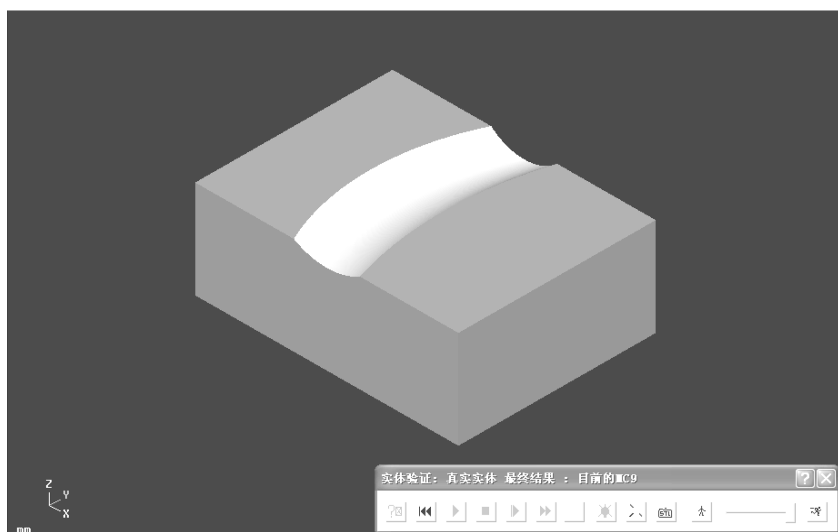


图 1-109　昆氏加工实体切削验证

例 1-23：举升加工

操作步骤如下：

步骤一　CAD 建模

1）以原点为圆心画直径为 40mm 的圆。

2）设定新的作图深度 Z-10，以 X 轴半径 56、Y 轴半径 46 作椭圆，完成后的图形如图 1-110 所示。

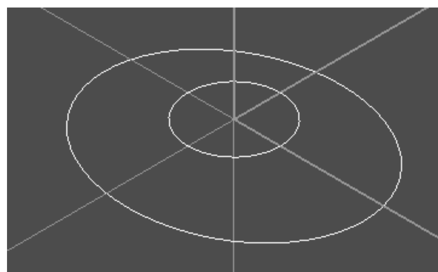


图 1-110　举升加工建模

步骤二　刀具路径编辑

1）在主菜单区单击“刀具路径”“下一页”“线架构路径”“举升加工”，定义外形，依次选择圆和椭圆，单击“执行”。

2）从刀库中选择直径为 8mm 的球刀，输入进给率：600.0、下刀速率：300.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油。

3）在“举升加工参数”选项卡中设定引导方向的切削量：0.5，截断方向的切削量：0.5，切削方式：双向，预留量：0.0，电脑补正位置：关，加工的方向：点选“截断方向”，其余默认，如图 1-111 所示。工作设定 X80 Y60 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 1-112 所示。将本例保存为“举升加工.mc9”文件。

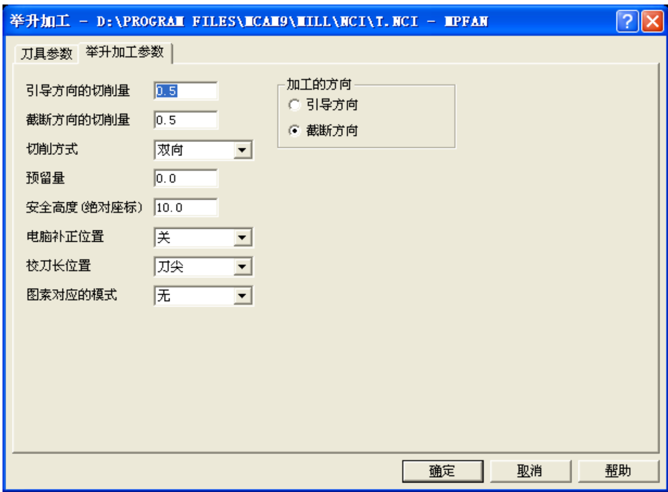


图 1-111　举升加工参数

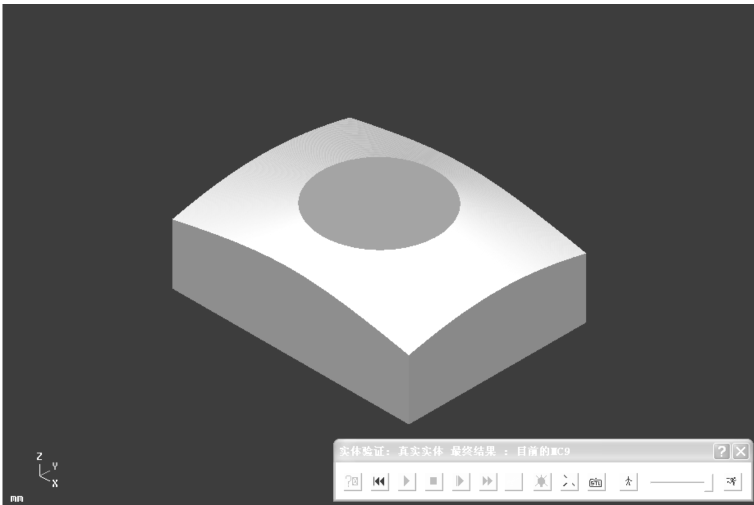


图 1-112　举升加工实体切削验证



注：

线架构路径在使用时一定要注意电脑补正位置，防止过切。

本 章 小 结

本章主要介绍 Mastercam 9.1 数控铣常见的 20 多种加工方式，从基本的面铣、二维轮廓、一般挖槽到曲面的粗、精加工的曲面挖槽、等高轮廓、平行铣削、放射状、投影加工、3D 等距、陡斜面、浅平面、曲面流线等，再到线架构路径的直纹加工、旋转加工、扫描加工、昆氏加工和举升加工等。本章是后续章节的基础，只有在基本掌握本章所列方法的基础上，才能在实际问题中加以灵活的运用。

第 2 章　经典实例一

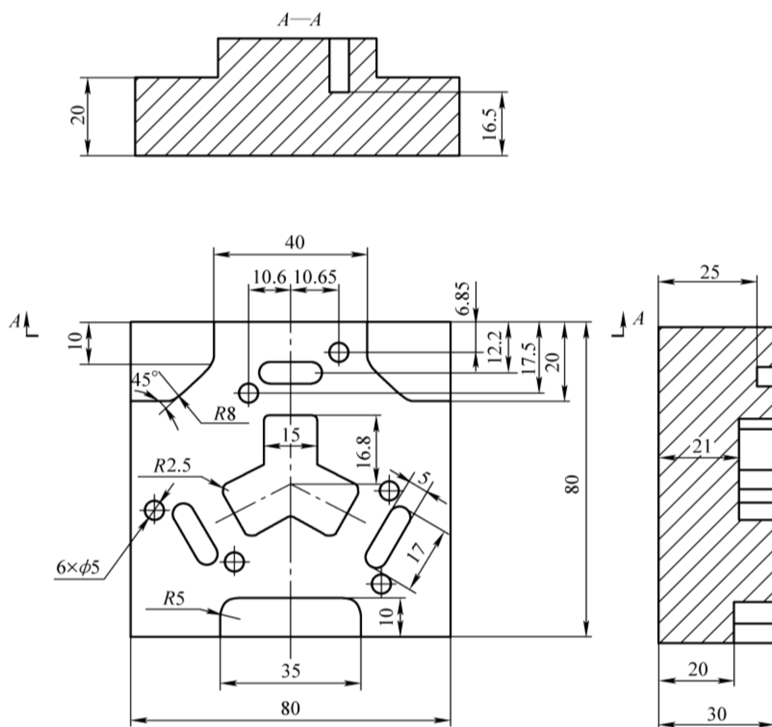


图 2-1　经典实例一

本例是数控铣中级工常见考题，材料为铝，备料尺寸为 80mm×80mm×30mm。

技术要求：

1）以小批量生产条件编程。

2）不准用砂布及锉刀等修饰表面。

3）未注公差尺寸按 GB/T 1804—m。

2.1　零件的工艺分析

读图 2-1 可知，零件形状以二维线框为主，有槽、孔、台阶等结构，无复杂曲面曲线结构，比较符合二维加工特点。从备料尺寸来看，外形轮廓及上、下底平面均不需要加工。

Mastercam 相比于其他 CAM 软件的一大优点是有灵活的二维加工方式，通过加工深度

和切削范围的控制来实现加工过程，无需进行曲面或实体的建模。

2.1.1　零件的加工方案

加工工序的划分可以分为 4 种方法：

1. **按零件装夹定位的方式划分工序**

由于每个零件的结构形状、用途不同，各表面的精度要求也有所不同，因此加工时定位方式会有差异。一般加工外形时以内孔定位，加工内孔时以外形定位，因而可以根据定位方式的不同来划分工序。

2. **按先粗后精的原则划分工序**

为了提高生产效率并保证零件的加工质量，在切削加工中，应先安排粗加工工序，在较短的时间内去除整个零件的大部分余量，然后安排半精加工和精加工。

3. **按刀具集中法划分工序**

在一次装夹中，尽可能用一把刀具加工完成所有加工的部位，然后再换刀加工其他部位。这种划分工序的方法可以减少换刀次数、缩短辅助时间、减小不必要的定位误差。

4. **按加工部位划分工序**

一般应先加工平面、定位面，再加工孔；先加工简单的形状，再加工复杂的形状；先加工精度较低的部位，再加工精度较高的部位。

上述原则在制订具体的零件加工方案上有时既统一又相互矛盾，这时候就需要理论与实践相结合，具体问题具体分析。工艺的基本原则是：在保证达到零件精度要求和加工工艺性要求的基础上，尽量减少工序，降低换刀次数，提高劳动生产率和机床使用率。

从图 2-1 可知，比较难加工的是 6 个直径为 5mm、深度为 13.5mm 的盲孔。由于孔较深，必须采用钻头钻孔，再用二刃键槽铣刀铣孔的加工方法；为了提高劳动生产率，一般多选择大刀粗加工、小刀精加工的方法；同时还要降低换刀次数。综合以上因素，给出一个比较符合实际的加工方案：

1）选用 $\phi10$ 立铣刀进行轮廓、台阶和 Y 形槽挖槽加工。

2）选用 $\phi4.5$ 麻花钻头钻 6 个深度为 13.5mm 的盲孔。

3）选用 $\phi5$ 键槽铣刀铣 17mm×5mm 键槽、精修 Y 形槽和对 6 个孔孔底进行铣平。



注：

普通立铣刀与键槽铣刀的区别：一是齿数不同，键槽铣刀齿数较少，通常为 2～3 齿，而普通立铣刀多为 3～6 齿；二是端面切削刃不同，键槽铣刀的端面切削刃是过心的，具有插钻功能，而普通立铣刀不过心，且其上有中心孔；三是切削角度不同，键槽铣刀前角为 5°、后角为 12°～16°、螺旋角为 12°～30°，普通立铣刀前角为 15°、后角为 14°～18°、螺旋角为 30°～48°。普通立铣刀不能垂直进给，键槽铣刀可以少量地垂直进给，但不宜用于加工较深的孔。

2.1.2　切削参数的设定

切削参数包括主轴转速、进给速度、背吃刀量等，受机床刚性、夹具、工件材料和刀具材料的影响，不同版本的教材给出的参数差异很大。

例 2-1：4 刃ϕ10 立铣刀粗加工参数的确定

1. 主轴转速的确定

主轴转速 n（r/min）与铣削速度 v_c（m/min）及铣刀直径 d（mm）的关系为 $n=\frac{1000v_c}{\pi d}$，而铣削速度 v_c 与工件和铣刀的材料有关。本例工件材料为铝合金，铣刀材料为高速钢，查表 2-1 可知，v_c=180～300m/min。由此计算，当粗加工用 4 刃 ϕ10 立铣刀时，可算得主轴转速 n=5732～9554r/min，实际上根本不可能达到。工程实际中取 n=2000～2500r/min。

当工件材料为低碳钢、铣刀材料为高速钢时，铣削速度 v_c=18～28m/min，可以算得 n=573～892r/min，工程实际中取 n=600～1000r/min，比较符合要求。

表 2-1　铣刀的铣削速度 v_c

（单位：m/min）

工 件 材 料	铣 刀 材 料					
	碳素钢	高速钢	超高速钢	合金钢	碳化钛	碳化钨
铝合金	75～150	180～300	—	240～460	—	300～600
镁合金	—	180～270	—	—	—	150～600
钼合金	—	45～100	—	—	—	120～190
黄铜（软）	12～25	20～25	—	45～75	—	100～180
黄铜	10～20	20～40	—	30～50	—	60～130
灰铸铁（硬）	—	10～15	10～20	18～28	—	45～60
冷硬铸铁	—	—	10～15	12～18	—	30～60
可锻铸铁	10～15	20～30	25～40	35～45	—	75～110
钢（低碳）	10～14	18～28	20～30	—	45～70	—
钢（中碳）	10～15	15～25	18～28	—	40～60	—
钢（高碳）	—	10～15	12～20	—	30～45	—
合金钢	—	—	—	—	35～80	—
合金钢（硬）	—	—	—	—	30～60	—
高速钢	—	—	12～25	—	45～70	—

注：摘自王荣兴主编《加工中心培训教程》，机械工业出版社。

2. 进给速度的确定

进给速度 F（mm/min）与铣刀每齿进给量 v_f（mm/z）、铣刀齿数 z、主轴转速 n（r/min）之间的关系是：$F=v_f zn$。查表 2-2 可知，当工件材料为铝合金、铣刀材料为高速钢时，铣刀每齿进给量 v_f=0.05～0.15mm/z，将 n=2000～2500r/min 带入，由此计算可得 F=400～1500mm/min，实际粗铣时取 F=800mm/min。

同理，当工件材料为低碳钢、铣刀材料为高速钢时，铣刀每齿进给量 v_f=0.03～0.18mm/z，将 n=600～800r/min 带入，可算得 F=72～576mm/min，工程实际中取值 n=60～200mm/min，基本符合要求。

表 2-2 铣刀每齿进给量 v_f 推荐值

（单位：mm/z）

工件材料	工件材料硬度 HBW	硬质合金		高速钢	
		端铣刀	立铣刀	端铣刀	立铣刀
低碳钢	150～200	0.2～0.35	0.07～0.12	0.15～0.3	0.03～0.18
中、高碳钢	220～300	0.12～0.25	0.07～0.1	0.1～0.2	0.03～0.15
灰铸铁	180～220	0.2～0.4	0.1～0.16	0.15～0.3	0.05～0.15
可锻铸铁	240～280	0.1～0.3	0.06～0.09	0.1～0.2	0.02～0.08
合金钢	220～280	0.1～0.3	0.05～0.08	0.12～0.2	0.03～0.08
工具钢	36HRC	0.12～0.25	0.04～0.08	0.07～0.12	0.03～0.08
镁、铝合金	95～100	0.15～0.38	0.08～0.14	0.2～0.3	0.05～0.15

注：摘自王荣兴主编《加工中心培训教程》，机械工业出版社。

3. **背吃刀量的确定**

背吃刀量 a_p 的选择如图 2-2 所示：当侧吃刀量 $a_e < d/2$（d 为铣刀直径）时，取 $a_p = (1/3 \sim 1/2)d$；当侧吃刀量 $d/2 \leqslant a_e < d$ 时，取 $a_p = (1/4 \sim 1/3)d$；当侧吃刀量 $a_e = d$（即满刀切削）时，取 $a_p = (1/5 \sim 1/4)d$；当机床的刚性较好，且刀具的直径较大时，a_p 可取更大。

按照理论，工件材料为铝合金，铣刀材料为高速钢，采用 4 刃 $\phi 10$ 立铣刀进行轮廓加工时，背吃刀量 $a_p = 2 \sim 5$ mm，实际用 Mastercam 编程加工时，Z 轴最大背吃刀量在 0.6～1mm 之间。

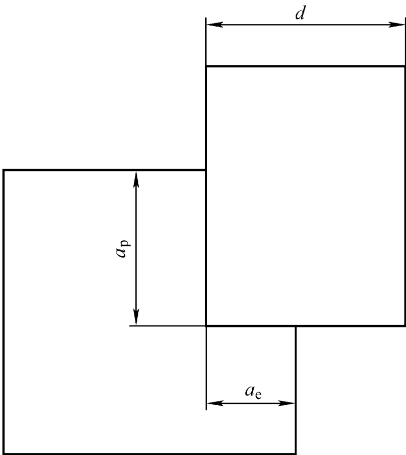


图 2-2 背吃刀量 a_p 示意图

数控铣床进行钻孔加工的工艺参数见表 2-3。

表 2-3 用高速钢钻孔切削用量

工件材料	牌号或硬度	切削用量	钻头直径/mm			
			1～6	6～12	12～22	22～50
铸铁	160～200HBW	v_c/(m/min)	16～24			
		f/(mm/r)	0.07～0.12	0.12～0.2	0.2～0.4	0.4～0.8

（续）

工件材料	牌号或硬度	切削用量	钻头直径/mm			
			1～6	6～12	12～22	22～50
铸铁	200～241HBW	v_c/(m/min)	10～18			
		f/(mm/r)	0.05～0.1	0.1～0.18	0.18～0.25	0.25～0.4
	300～400HBW	v_c/(m/min)	5～12			
		f/(mm/r)	0.03～0.08	0.08～0.15	0.15～0.2	0.2～0.3
钢	35 钢、45 钢	v_c/(m/min)	8～25			
		f/(mm/r)	0.05～0.1	0.1～0.2	0.2～0.3	0.3～0.45
	15Cr、20Cr	v_c/(m/min)	12～30			
		f/(mm/r)	0.05～0.1	0.1～0.2	0.2～0.3	0.3～0.45
	合金钢	v_c/(m/min)	8～18			
		f/(mm/r)	0.03～0.08	0.08～0.15	0.15～0.25	0.25～0.35
铝	纯铝	v_c/(m/min)	20～50			
		f/(mm/r)	0.03～0.2	0.06～0.5	0.15～0.8	
	铝合金（长切屑）	v_c/(m/min)	20～50			
		f/(mm/r)	0.05～0.25	0.1～0.6	0.2～1.0	
	铝合金（短切屑）	v_c/(m/min)	20～50			
		f/(mm/r)	0.03～0.1	0.05～0.15	0.08～0.36	
铜	黄铜、青铜	v_c/(m/min)	60～90			
		f/(mm/r)	0.06～0.15	0.15～0.3	0.3～0.75	
	硬青铜	v_c/(m/min)	25～45			
		f/(mm/r)	0.05～0.15	0.12～0.25	0.25～0.5	

注：摘自韩鸿鸾、张秀玲主编《数控加工技师手册》，机械工业出版社。

按照表 2-3，用 ϕ5 的高速钢麻花钻钻铝合金材料的工件时，可以计算得主轴转速 n=1273～3184r/min，工程实际中取值为 1000～1500r/min，进给速度 F=38～318mm/min，工程实际中取值为 50～200mm/min。

4. *基于少切削、快进给的切削三要素组合*

背吃刀量、主轴转速和进给速度是切削的三大要素。在利用 Mastercam 自动编程加工时，当前企业的实际做法是基于少切削、快进给的切削三要素组合，即背吃刀量小、进给速度快。

常用刀具使用参考值（以下表 2-4～表 2-7 摘自何县雄编著《Mastercam 数控加工自动编程范例教程》，化学工业出版社）：

1）常用粗加工硬质合金刀（镶刀片类）见表 2-4。

表 2-4　常用粗加工硬质合金刀（镶刀片类）

品　　牌	刀具型号	推荐背吃刀量/mm	推荐转速/（r/min）	推荐进给速度/（mm/min）
SECO、三菱	$\phi35R5$	0.6～1	1500	1500～1800
SECO、三菱	$\phi30R5$	0.6～0.8	1500	1500～1800
SECO、三菱	$\phi25R5$	0.5～0.8	1500	1500～1800
SECO、三菱	$\phi20R0.8$	0.3～0.5	1800	1200～1500
SECO、三菱	$\phi16R0.8$	0.3～0.5	2000	1200～1500

2）合金钨钢平底刀见表 2-5。

表 2-5　合金钨钢平底刀

刀具型号	推荐进给速度/（mm/min）精（粗）	下刀速率/（mm/min）精（粗）	推荐背吃刀量/mm	推荐转速/（r/min）精（粗）
ϕ12	1200（1800）	600（1000）	0.3～0.6	2500（1800）
ϕ10	1200（1800）	600（1000）	0.3～0.5	2500（1800）
ϕ8	1200（1800）	600（1000）	0.2～0.5	2500（1800）
ϕ6	1200	600	0.2～0.3	2500
ϕ5	1200	600	0.15～0.25	3000
ϕ4	1000	500	0.1～0.25	3000
ϕ3	800	500	0.1～0.2	3000
ϕ2	600	300	0.05～0.15	3500
ϕ1	300	100	0.05～0.1	3500

3）白钢刀（高速钢，主要加工材料为纯铜）见表 2-6。

表 2-6　白钢刀（高速钢，主要加工材料为纯铜）

刀具型号	推荐进给速度/（mm/min）精（粗）	下刀速率/（mm/min）精（粗）	推荐背吃刀量/mm 精（粗）	推荐转速/（r/min）精（粗）
ϕ20	1200（1800）	600（1000）	0.3～0.5（0.6～2）	2000（1200）
ϕ16	1200（1800）	600（1000）	0.3～0.5（0.6～1.5）	2000（1200）
ϕ12	1200（1800）	600（1000）	0.2～0.5（0.5～0.8）	2000（1200）
ϕ10	1200（1800）	600（1000）	0.2～0.5（0.5～0.8）	2000（1200）
ϕ8	1200（1800）	600（1000）	0.2～0.4（0.3～0.6）	2000（1200）
ϕ6	1200	600	0.2～0.3	2000
ϕ5	1200	600	0.2～0.3	2500
ϕ4	1000	500	0.1～0.25	2500
ϕ3	800	500	0.1～0.2	2500
ϕ2	600	300	0.05～0.15	3500
ϕ1	300	100	0.05～0.1	3500

4）球刀（主要用于钢料和纯铜的精加工）见表 2-7。

表 2-7　球刀（主要用于钢料和纯铜的精加工）

刀具型号	推荐进给速度/（mm/min）精（半精）	下刀速率/（mm/min）精（半精）	推荐刀间距/mm	推荐转速/（r/min）精（半精）
ϕ20R10	1200（1500）	600（800）	0.3～0.5	2000（1500）
ϕ16R8	1200（1500）	600（800）	0.3～0.5	2000（1500）
ϕ12R6	1200（1500）	600（800）	0.2～0.4	2500（2000）
ϕ10R5	1200（1500）	600（800）	0.2～0.4	2500（2000）
ϕ8R4	1000（1500）	500（800）	0.2～0.3	3000（2000）
ϕ6R3	1000（1200）	500（600）	0.2～0.3	3000（2000）
ϕ5R2.5	800（1200）	400（600）	0.1～0.3	3000（2000）
ϕ4R2	800	400	0.1～0.25	3000
ϕ3R1.5	600	300	0.1～0.2	3500
ϕ2R1	500	300	0.05～0.2	3500
ϕ1R0.5	300	100	0.05～0.1	4000

综合各个版本的教材可知，目前机床的切削参数主要还是靠经验来确定。以广东技术师范学院工业实训中心为例，采用南通科技集团公司的 TONMAC V600 型数控铣床，主轴最高转速为 6000r/min，学生实训主要用铝作为工件材料，高速钢作为刀具材料。一般情况下，粗加工时主轴转速设定在 1800～2000r/min，进给速度为 800～1500mm/min；半精加工时主轴转速为 2000～2500r/min，进给速度为 600～1200mm/min；精加工时主轴转速为 3000～4000r/min，进给速度为 400～1000mm/min；钻孔时主轴转速为 1000～1500r/min，进给速度为 50～200mm/min。刀具直径越小，相应主轴转速就越高，推荐背吃刀量和刀间距可以参考表 2−6、表 2−7。

用钢作为工件材料、高速钢作为刀具材料，粗加工时主轴转速一般设定为 600r/min，进给速度在 100mm/min 左右；半精加工时主轴转速为 600～800r/min，进给速度为 60～80mm/min；精加工时主轴转速为 800～1000r/min，进给速度为 30～60mm/min；钻孔时主轴转速在 600r/min 左右，进给速度在 50mm/min 左右；背吃刀量可以按照图 2−2 选取。以上各参数主要用于手工编程加工钢件时的取值。用 Mastercam 自动编程加工钢件时，各参数值可以参考表 2−4～表 2−7。

不论是切削范围外下刀还是螺旋、斜插式下刀，下刀速率一般设定为进给速度的一半；利用键槽铣刀垂直下刀进入工件表面的下刀速率与钻孔相同。

随着各种新材料刀具的兴起，有些刀具加工时可以获得很高的主轴转速和进给速度。以在广东技术师范学院举办的数控大赛为例，就曾有选手采用瑞典 SANDVIK 的硬质合金刀具，用南通科技集团公司的 TONMAC V600 型数控铣床，钢件粗加工时主轴转速可达 4500r/min，进给速度高达 4500mm/min，而且一次背吃刀量达 10mm。



注：

在选择新刀具、新工件材料时，切削参数的确定应该多询问刀具生产厂家，一般厂家都会给出一个参考值。如果没有的话，可以通过在机床上试切加工来获得必要的切削参数。

2.2　零件的 CAD 建模

操作步骤如下：

1）绘出 80mm×80mm 矩形，以原点为抓点方式。

2）以点 X−20 Y40 和点 X−20 Y30 画垂直线，选择端点 X−20 Y30、角度 225°、长度 100，以极坐标方式画线，以点 X−40 Y20 水平方式画线，以 *R*8 作圆角两处。

3）以点 X−17.5 Y−40 和点 X−17.5 Y−30 画垂直线，以点 X−17.5 Y−30 和点 X0 Y−30 画线，作圆角 *R*5。

4）单击“矩形”选项菜单，勾选“角落倒圆角”，输入 2.5，如图 2−3 所示。退回到“一点”作矩形，输入宽度：15.0、高度：16.8，绘制矩形，如图 2−4 所示。

5）同理绘制矩形 12mm×5mm，点的位置选择“正中”，选择点 X0 Y27.8，倒圆角 *R*2.5。

6）分别以点 X−10.6 Y22.5 和点 X10.65 Y33.15 为圆心绘制直径为 5mm 的圆，如图 2−5 左所示。

7）在“转换”菜单里，分别采用镜像和旋转的方法，作出图形。在“修整”菜单里，采用“在交点处打断”，删除掉所有不用的线段，如图 2−5 右所示。

8）在“修整”菜单里，选择“延伸”，延伸量：6，延伸部分线框的轮廓，如图 2-6 所示。



图 2-3　圆角设定矩形对话框

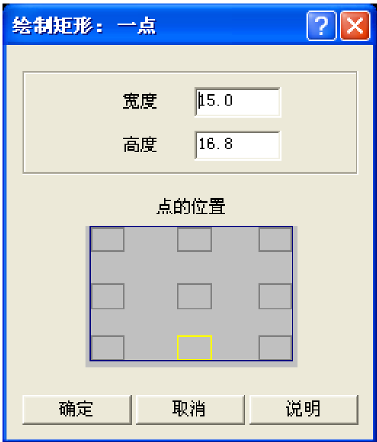


图 2-4　点的位置矩形对话框

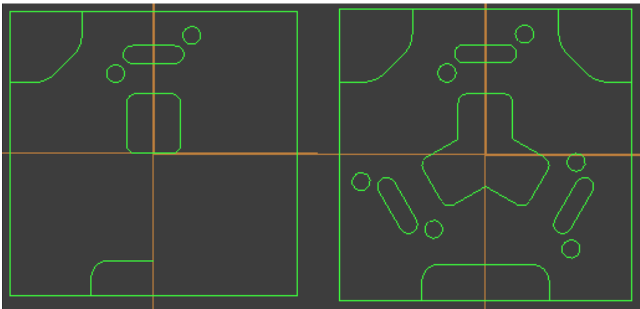


图 2-5　零件 CAD 建模（一）

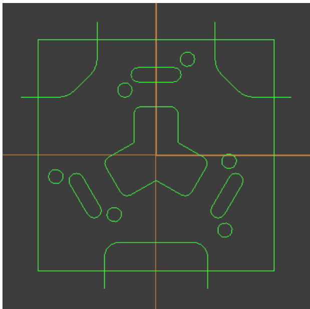


图 2-6　零件 CAD 建模（二）

2.3　CAM 刀具路径的设定

2.3.1　刀具的选择

加工工序主要采用 ϕ10 的 4 刃立铣刀、ϕ4.5 麻花钻头和 ϕ5 键槽铣刀，各工序加工内容及切削参数见表 2-8。

表 2-8　各工序刀具及切削参数

序　　号	加 工 部 位	刀　　具	主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）	下刀速率/（mm/min）
1	二维轮廓加工（粗、精）	ϕ10 立铣刀	2000	800	400
2	钻孔加工	ϕ4.5 麻花钻头	1200	100	—
3	Y 形槽、键槽及孔粗、精加工	ϕ5 键槽铣刀	2500	400	200

2.3.2　工作设定

设定 X80.0、Y80.0、Z30.0，进给率的计算：点选“依照刀具”，其余默认，工作设定如图 2-7 所示。

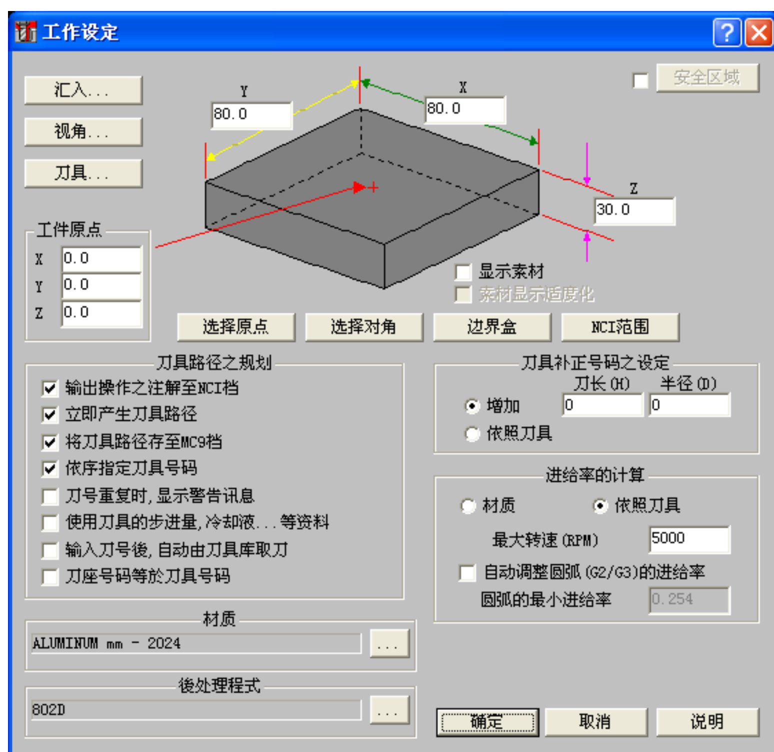


图 2-7　工作设定

2.3.3　刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）选择“外形铣削（2D）”，从刀库中选择直径为 10mm 的平刀，图形选择如图 2-12 所示。在“刀具参数”选项卡中设定进给率：800.0、下刀速率：400.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 2-8 所示。在“外形铣削参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0，深度：-10，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“Z 轴分层铣深”“平面多次铣削”，其余参数默认，如图 2-9 所示。

在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：0.8，勾选“不提刀”，如图 2-10 所示。在“XY 平面多次铣削设定”对话框中输入粗铣次数：3、间距：5.0，勾选“不提刀”，如图 2-11 所示。刀具路径模拟如图 2-12 所示。

2）选择“外形铣削（2D）”，刀具及刀具参数同上，如图 2-13 所示，深度：-10.0，补

正方向：右，在“XY 平面多次铣削设定”对话框中输入粗铣次数：2、间距：5.0，其余与步骤 1）相同，刀具路径模拟如图 2-14 所示。将以上两步设定为一个操作群组，设定群组名称为“粗铣 D10”。



图 2-8 粗铣刀具参数

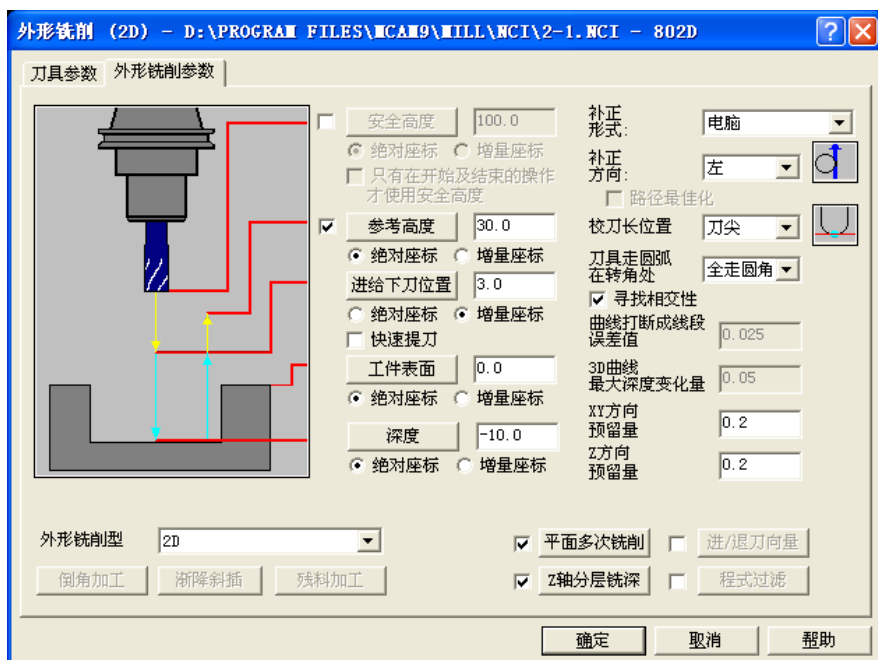


图 2-9 粗铣外形铣削参数

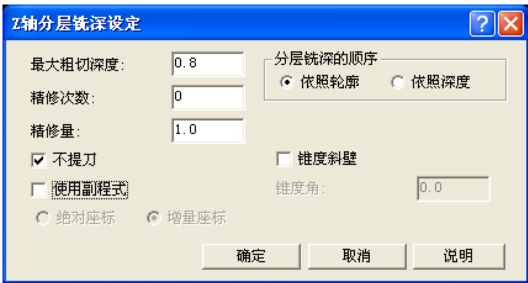


图 2-10　Z 轴分层铣深设定

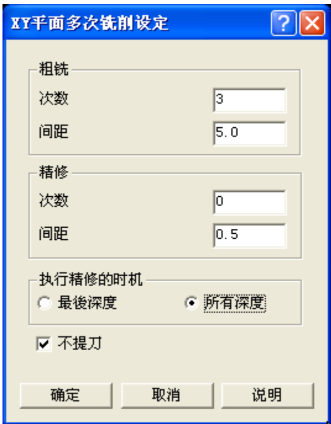


图 2-11　XY 平面多次铣削设定

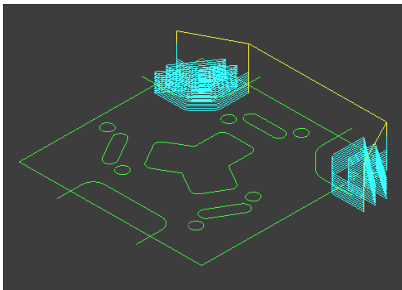


图 2-12　步骤 1）刀具路径模拟

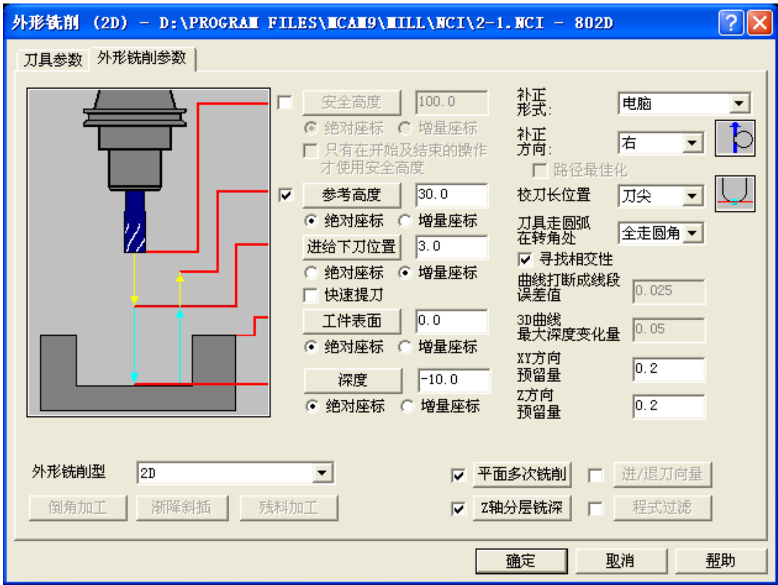


图 2-13　粗铣外形铣削参数

3）新建操作群组，设定群组名称为“精铣 D10”，复制步骤 1）。在“刀具参数”选项卡中设定进给率：400.0、下刀速率：200.0，其余参数与步骤 1）相同。在“外形铣削（2D）”选项卡中将 XY 方向预留量设定为：0.0，Z 方向预留量设定为：0.0，不勾选“Z 轴分层铣

深”，其余参数与步骤 1）相同。勾选“平面多次铣削”“平面多次铣削”，参数与步骤 1）相同。

4）新建操作群组“钻孔 D5”，从刀库中选择直径为 5mm 的钻头，将鼠标移动到钻头处，单击右键打开定义刀具对话框，将刀具直径改为 4.5。图形选择 6 个孔，执行“深孔钻−无啄钻”，进给率：100.0，主轴转速：1200，冷却液：喷油，如图 2−15 所示；在“深孔钻−无啄钻”选项卡中设定深度：−13.3，其余默认，如图 2−16 所示。刀具路径模拟如图 2−17 所示。

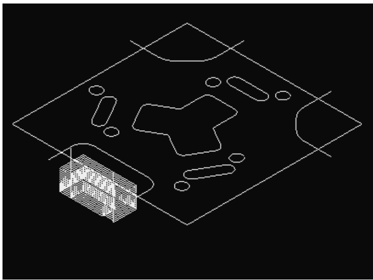


图 2−14 步骤 2）刀具路径模拟

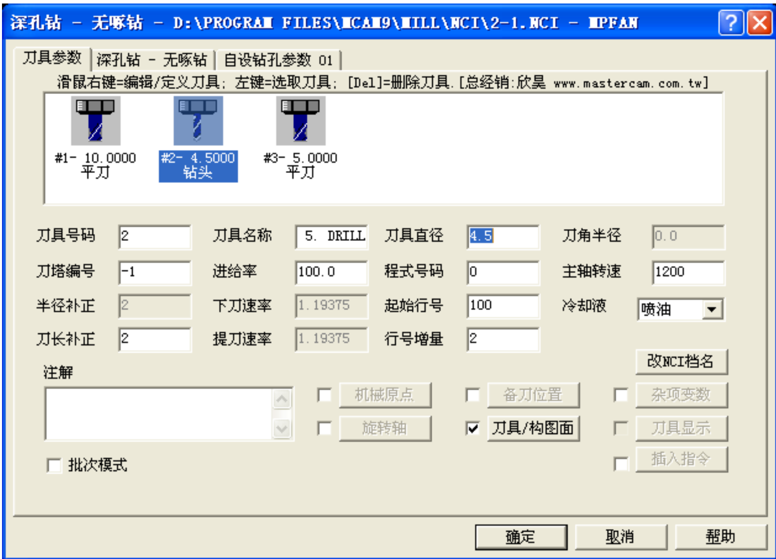


图 2−15 钻孔刀具参数

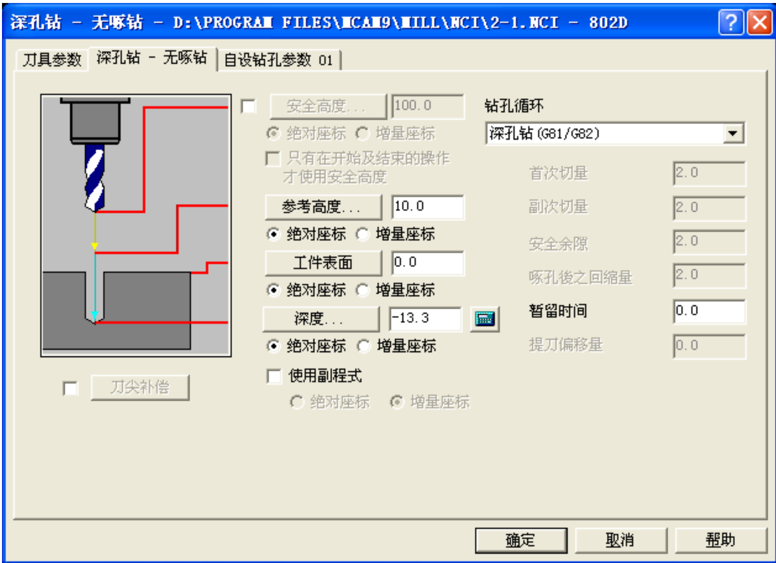


图 2−16 深孔钻参数

5）新建操作群组“粗铣 D5”，从刀库中选择直径为 5mm 的平刀，图形选择“Y”形，执行挖槽加工，在“刀具参数”选项卡中设定进给率：800.0、下刀速率：200.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油，如图 2−18 所示；在“挖槽参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：−9.0，XY 方向预留量：0.2，Z 向预留量：0.2，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度：0.3，勾选“不提刀”，其余参数默认，如图 2−19、图 2−20 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中选择“等距环切”，设定切削间距：80.0%，勾选“刀具路径最佳化（避免插刀）”，不勾选“精修”，其余参数默认，如图 2−21 所示。

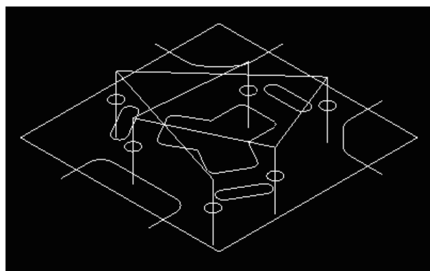


图 2−17 深孔钻刀具路径模拟



图 2−18 挖槽刀具参数

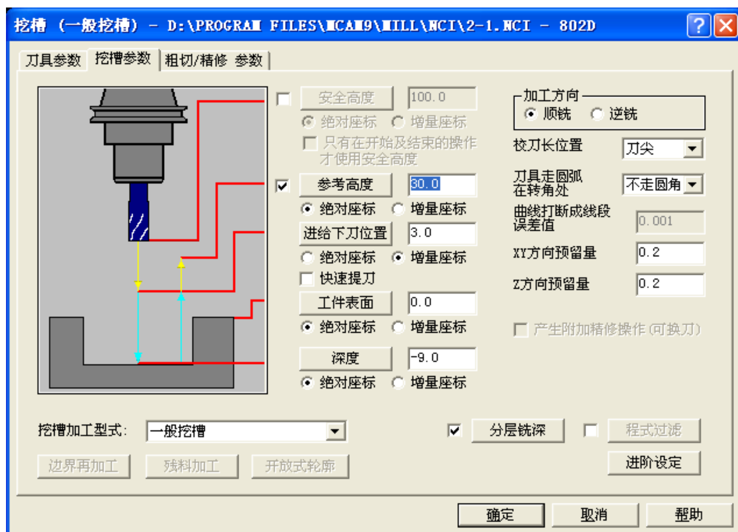


图 2−19 挖槽参数

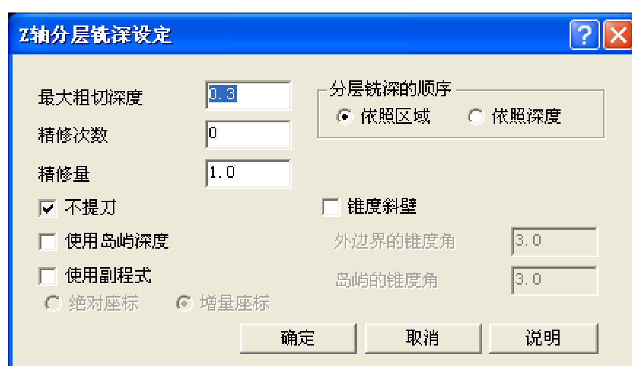


图 2-20 挖槽 Z 轴分层铣深参数

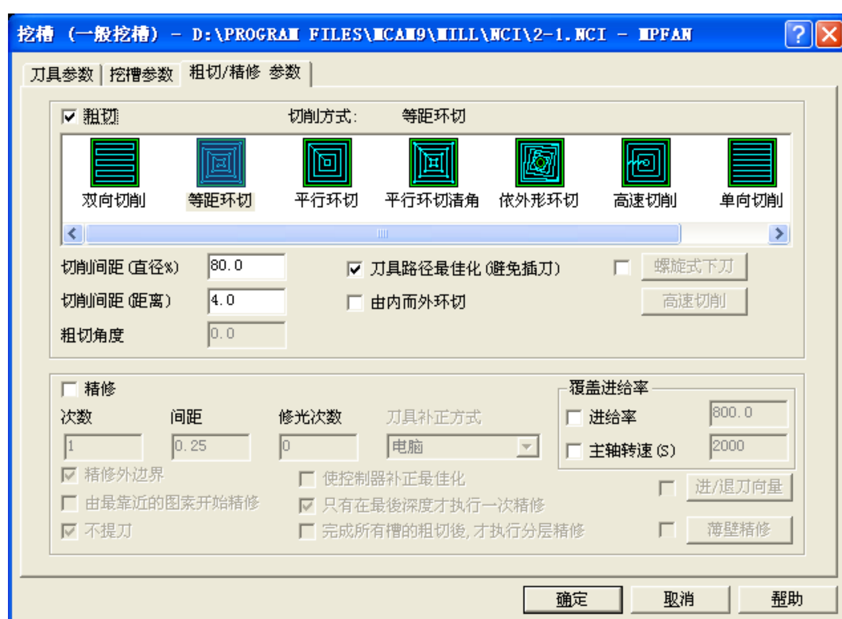


图 2-21 挖槽粗切/精修参数

6）新建操作群组“精铣 D5”，复制步骤 5），设定进给率：400.0、主轴转速：2500、XY 方向预留量：0.0、Z 方向预留量：0.0，不勾选“Z 轴分层铣深”，其余所有选项卡参数与步骤 5）相同。

7）复制步骤 2），在“刀具参数”选项卡中设定进给量：400.0，下刀速率：200.0，主轴转速：2500；在“外形铣削参数”选项卡中设定 XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，不勾选“Z 轴分层铣深”，勾选“平面多次铣削”，设定粗铣次数：3 次、间距：4，其余所有选项卡参数和平面多次铣削参数均与步骤 2）相同。

8）绘图，以 17mm×5mm 的键槽两端半圆的中心两点画线，如图 2-23 左图所示；仍然选择直径为 5mm 的平刀，在“刀具参数”选项卡中设定进给率：400.0、下刀速率：100.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“外形铣削参数”选项卡中设定补正形式：关，勾选“分层铣深”，深度：−5.0，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，如图 2-22 所示；在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：0.3，勾选“精修”，

次数：1，精修量：0.2，点选“依照深度”，其余默认，如图 2-24 所示。刀具路径模拟如图 2-23 右图所示。

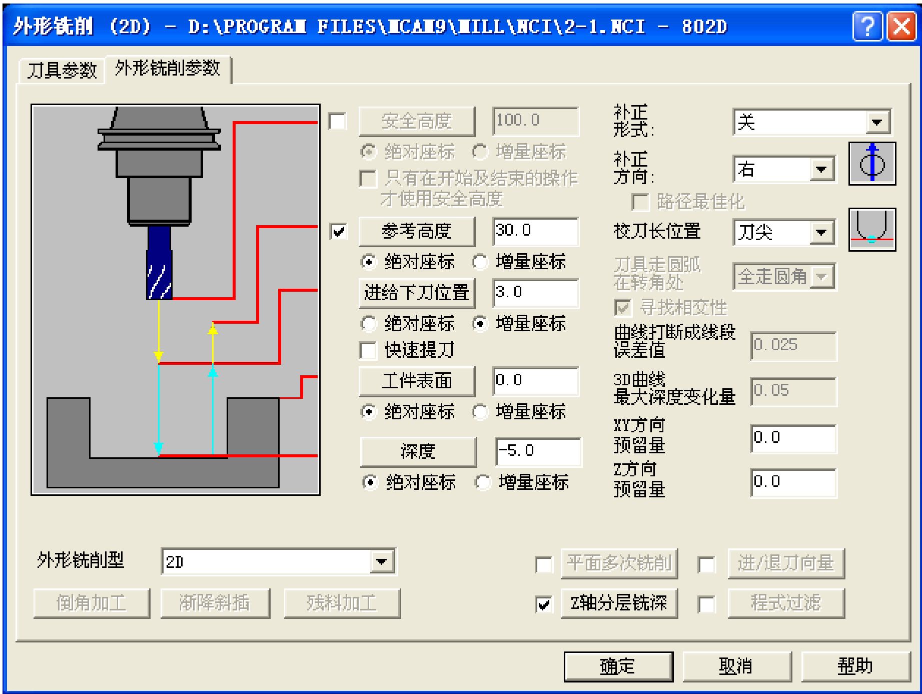


图 2-22　精铣键槽外形铣削参数

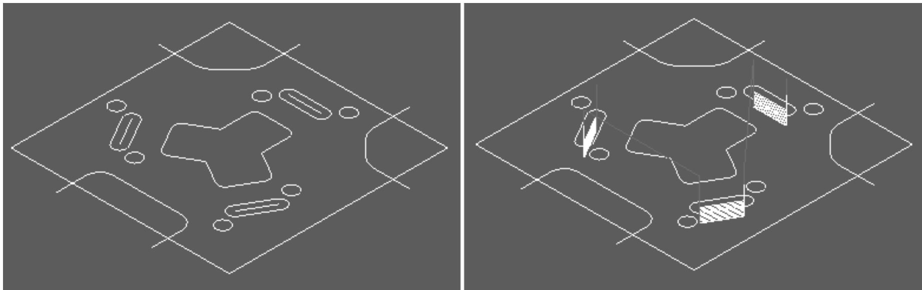


图 2-23　精铣键槽刀具路径模拟

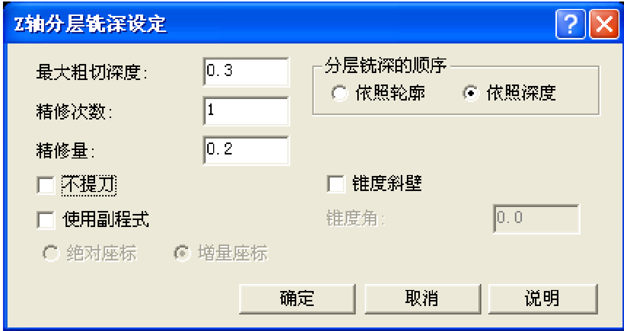


图 2-24　精铣键槽分层铣深设定

9）仍然选择直径为 5mm 的平刀钻孔，进给率：100.0，主轴转速：1200，如图 2-25 所示；钻孔深度：−13.5，如图 2-26 所示；实体切削验证效果如图 2-27 所示，将本例保存为“2-1.mc9”文件。

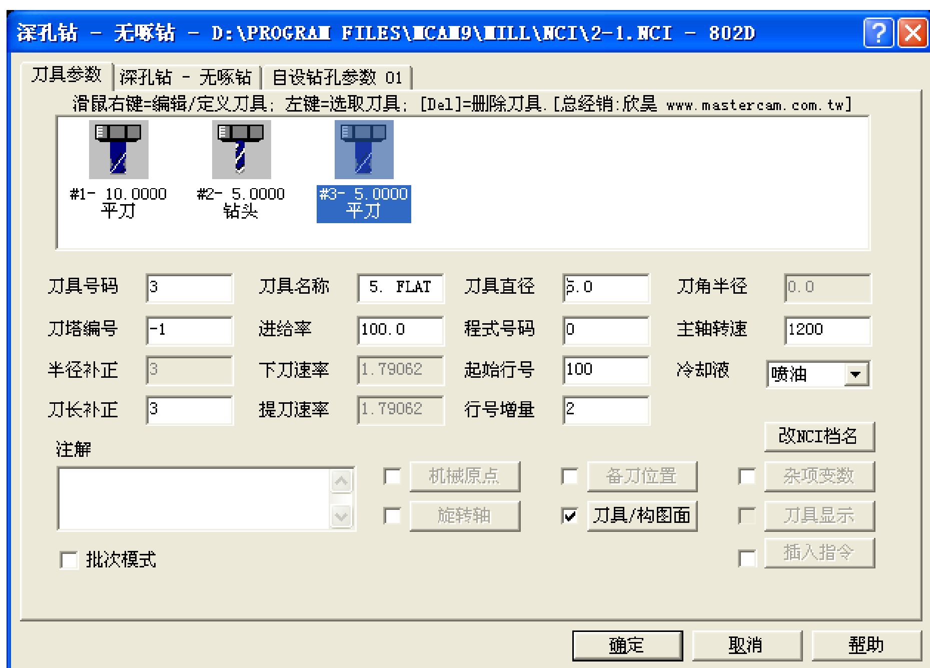


图 2-25 键槽铣刀钻孔刀具参数

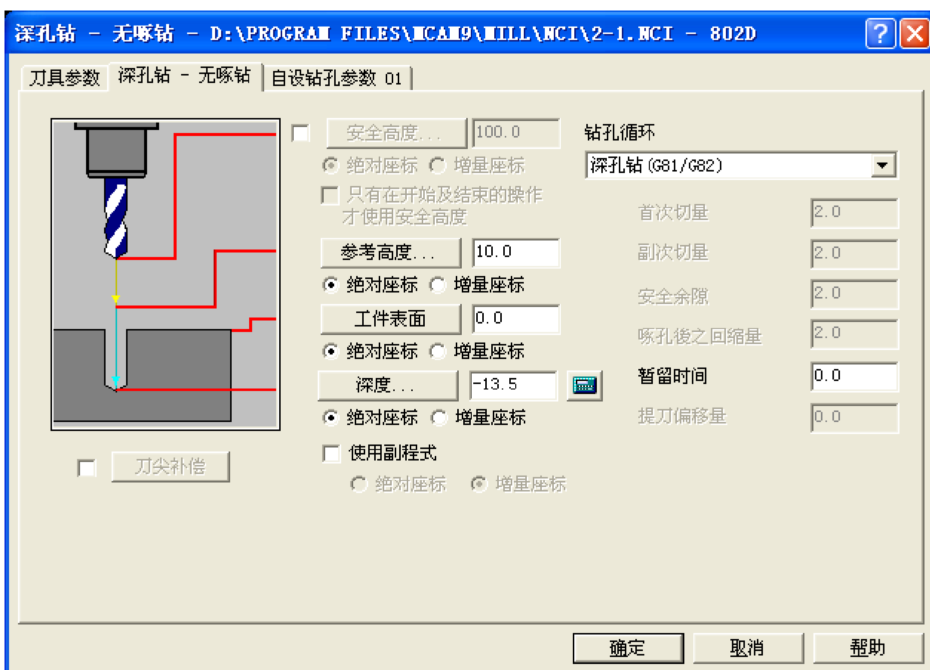


图 2-26 键槽铣刀钻孔参数

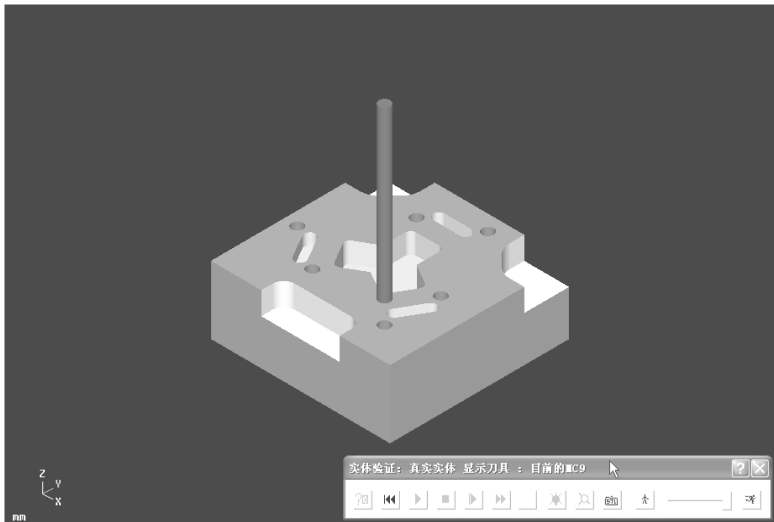


图 2-27　实体切削验证效果



注：

本例主要应用了刀具集中法和先粗后精法划分工序，在粗、精加工之间保留测量环节，方便精加工时调整 XY 和 Z 向的预留量，最大限度地消除 Z 向对刀误差和刀具制造误差。

步骤 1）和 2）采用的是外形铣削的平面多次铣削的方法来加工，也可以采用“开放式轮廓挖槽”的方法实现，以步骤 2）为例：

单击主菜单区“刀具路径”“挖槽”，将挖槽加工型式选择为“开放式轮廓挖槽”，开放式轮廓参数默认。图形选择部分串联，如图 2-14 所示，勾选“Z 轴分层铣深”，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，其余参数与步骤 1）相同，如图 2-28 所示；“粗切/精修 参数”选项卡参数设定与步骤 5）相同。

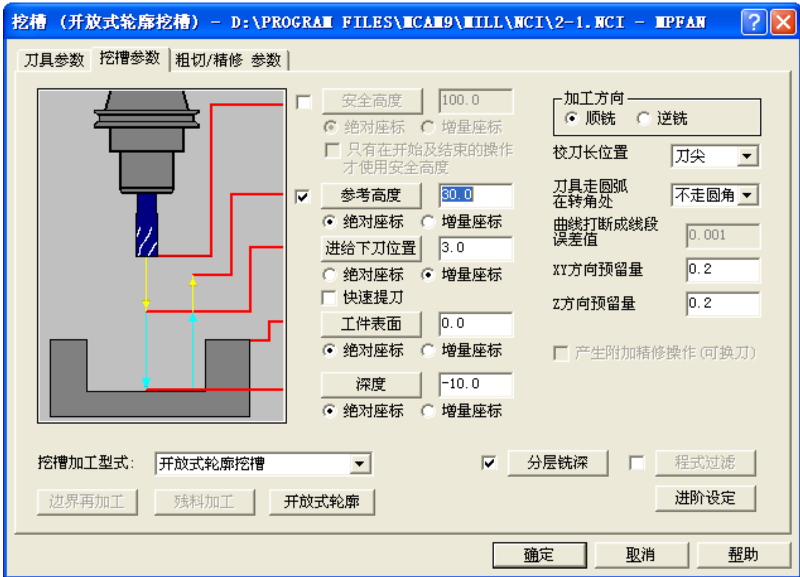


图 2-28　开放式轮廓挖槽参数

2.3.4 程序的后处理

在“操作管理员”对话框中单击操作群组“粗铣 D10”，显示勾选刀具路径编辑的步骤 1）和 2），单击右边按钮“执行后处理”，单击“更改后处理程序”，选择 802D.PST，单击“打开”，如图 2-29 所示。弹出对话框，询问是否要全部执行后处理，选择“否”，如图 2-30 所示。将后处理结果保存为 CX-D10.NC。同理，将同一个群组的所有操作执行后处理，分别保存为 JX-D10.NC、ZK-D5.NC、CX-D5.NC、JX-D5.NC。

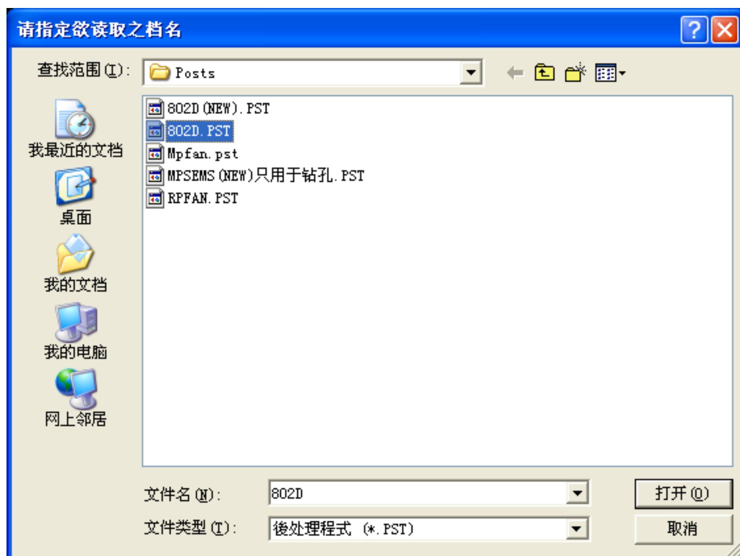


图 2-29 SINUMERIK 802D 后处理

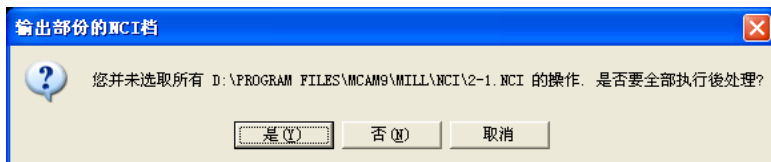


图 2-30 后处理执行方式


注：

Mastercam 自带有 FANUC 系统的后处理文件“MPFAN.PST”。SIEMENS 的后处理文件可以在网上下载，比较好用的有“802D.PST”“802D（NEW）.PST”和“MPSEMS（NEW）只用于钻孔.PST”，适用场合不同，读者可以自行后处理，看看有什么不同。

2.4 SINUMERIK 802D 数控铣床加工的基本操作

2.4.1 SINUMERIK 802D 面板操作

V600 型 SINUMERIK 802D 数控铣床是南通科技集团公司开发的中档数控机床，具

有刚性较好、切削功率较大的特点。机床采用全封闭罩防护，气动换刀，快速方便，主要构件刚度高，床身立柱、床鞍均为稠筋、封闭式框架结构，如图 2−31 所示。主要规格参数为：

工作台面尺寸：	800mm×400mm
三向最大行程（X/Y/Z）：	610mm/410mm/510mm
主轴转速范围：	60～6000r/min
快速移动进给：	15000mm/min
定位精度：	±0.01mm
重复定位精度：	±0.005mm
机床净重：	4000kg
外形尺寸：	2200mm×2316mm×2396mm



图 2−31　V600 型 SINUMERIK 802D 数控铣床

SINUMERIK 802D 数控系统面板分为 3 个区，分别是 CNC 操作面板区、机床控制面板区（包含控制器接通与断开）和屏幕显示区，如图 2−32 所示。



图 2−32　SINUMERIK 802D 数控系统面板

CNC 控制面板如图 2−33 所示，各按键功能见表 2−9。

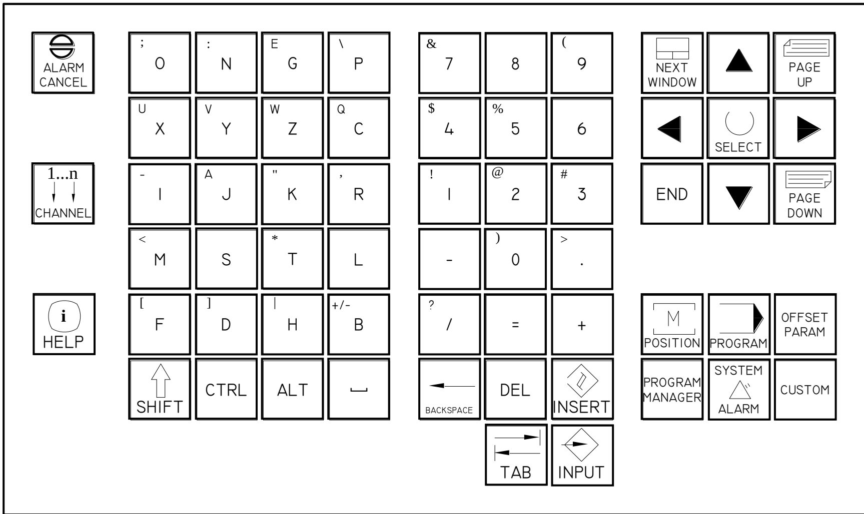


图 2-33　SINUMERIK 802D CNC 控制面板

表 2-9　SINUMERIK 802D CNC 操作面板各按键功能说明

按　　键	功 能 说 明	按　　键	功 能 说 明
ALARM CANCEL	报警应答键	PROGRAM	程序操作区域键
1...n CHANNEL	通道转换键	OFFSET PARAM	参数操作区域键
i HELP	信息键	PROGRAM MANAGER	程序管理操作区域键
SHIFT	上档键	SYSTEM ALARM	报警/系统操作区域键
CTRL	控制键	CUSTOM　NEXT WINDOW	未使用
ALT	ALT 键	PAGE UP　PAGE DOWN	翻页键
␣	空格键	▲ ◀ ▶ ▼	光标键
BACKSPACE	退格键		
DEL	删除键		
INSERT	插入键	SELECT	选择/转换键
TAB	制表键	END	至程序最后
INPUT	回车/输入键	A J　W Z	字母键（上档键转换对应小字符）
M POSITION	加工操作区域键	) 0　(9	数字键（上档键转换对应小字符）

SINUMERIK 802D 机床控制面板如图 2-34 所示，各按键功能见表 2-10。

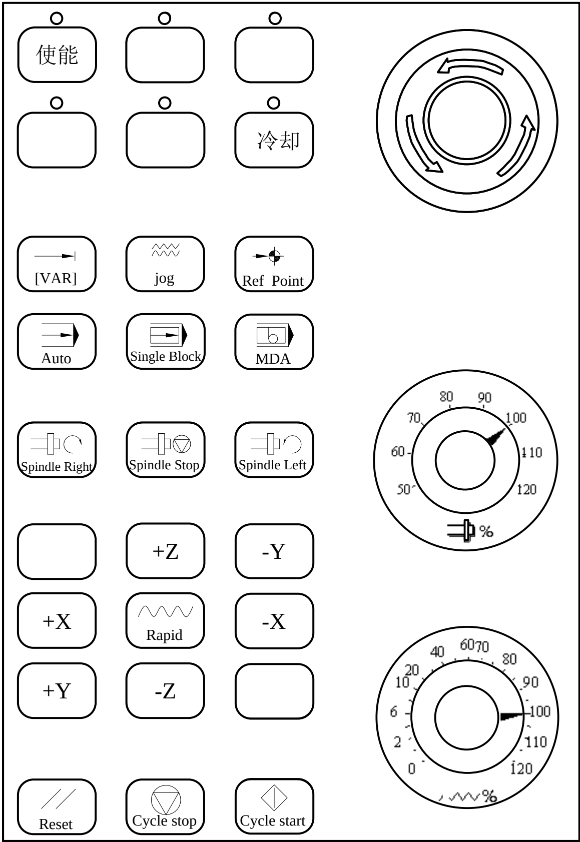


图 2-34　SINUMERIK 802D 机床控制面板

表 2-10　SINUMERIK 802D 机床控制面板各按键功能说明

按　　键	功 能 说 明	按　　键	功 能 说 明
Reset	复位	+Z　−Z	Z 轴点动
Cycle stop	循环停止	+Y　−Y	Y 轴点动
Cycle start	循环启动	+X　−X	X 轴点动
使能　冷却	用户定义，使能和切削液启动	Rapid	快速运动叠加
[VAR]	增量选择		紧急停止
jog	手动方式		
Ref Point	回零		

（续）

按　键	功 能 说 明	按　键	功 能 说 明
Auto	自动方式		主轴速度修调
Single Block	单步		
MDA	手动数据输入		
Spindle Right	主轴正转		进给速度修调
Spindle Stop	主轴停止		
Spinde Left	主轴反转		

开机操作步骤：

1）检查机床各部分初始状态是否正常，包括润滑油液面高度、气压表等。

2）合上机床右侧的电气总开关。

3）按下机床控制面板上的“控制器接通”按钮，系统进入自检，约 3min 后进入开机界面。

4）按箭头提示方向旋开“紧急停止”按钮，按下“Reset”复位按钮。

5）按下“使能”按钮。

6）回参考点：依次按下+Z、+Y、+X 三个按钮，Z、Y、X 三个方向分别回零，出现◕符号，表示各轴回零完成。



注：

回零一定要先从 Z 轴开始，先抬起 Z 轴，避免撞刀。

2.4.2　零件的装夹

操作步骤如下：

1）按下“jog”按钮，进入手动运行方式，同时按下“Rapid”快速叠加按钮和“−Z”按钮，让主轴快速移动到合适高度，方便装刀；同理，按下“Rapid”和“−Y”按钮；按下“Rapid”和“−X”按钮，让机床工作台快速移动到中间位置，也可以使用手轮（手摇脉冲发生器）来操作。

2）钳口校正：本例采用机用平口钳装夹。机用平口钳适用于安装中小尺寸和形状规则的工件，它是一种通用夹具，安装平口钳时必须先将底面和工作台面擦干净，利用百分表校正钳口，使钳口与相应的坐标轴平行，以保证铣削的加工精度。先松开平口钳底座刻度盘的旋转调整螺母，通过百分表在 X 轴方向反复移动，来调整机用平口钳 X 轴方向的水平，调整好以后拧紧螺母，如图 2−35 右图所示。

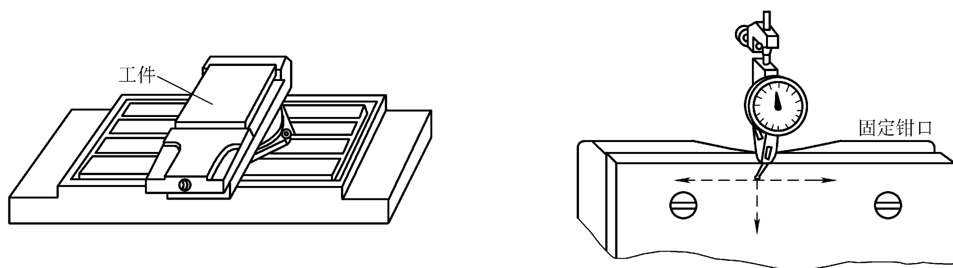


图 2−35　机用平口钳的校正与工件装夹

3）工件装夹：数控铣床加工的工件多数为毛坯或半成品，利用平口钳装夹的工件尺寸一般不超过钳口的宽度，所加工的部位不得与钳口发生干涉。平口钳校正好后，把工件放入钳口内，并在工件的下面垫上比工件窄、厚度适当且加工精度较高的等高垫块，然后把工件夹紧。为了使工件紧密地靠在垫块上，应用铜棒或橡皮锤轻轻地敲击工件，直到用手不能轻易推动等高垫块，最后再将工件夹紧在平口钳内。工件应当紧固在钳口靠近中间的位置，装夹高度以铣削尺寸高出钳口平面 3～5mm 为宜。用平口钳装夹表面粗糙度值较大的工件时，应在两钳口与工件表面之间垫一层铜片，以免损坏钳口，并能增加接触面积。对于高度方向尺寸较大的工件，不需要加等高垫块而直接装入平口钳，如图 2−35 左图所示。

2.4.3　对刀与换刀

1. *对刀*

在数控铣削加工中，对刀是一个重要的环节。对刀的目的是通过刀具或对刀工具确定工件坐标系与机床坐标系之间的空间位置关系，并通过对刀数据来实现 G54 的设定。它是数控加工中最重要的操作内容，其准确性将直接影响零件的加工精度。

常见的对刀方法有试切法、寻边器对刀法、机内对刀仪对刀法、自动对刀法等。本例主要讲述 SINUMERIK 802D 系统的双边试切法对刀。试切法是指直接用正在旋转的铣刀进行对刀，通过手轮移动工作台或主轴，使得旋转的刀具与工件的前后、左右及工件的上表面作极微量的接触切削，能够听到切削或刮擦声，分别记下刀具所在位置，对这些坐标值进行一定的计算，来设定工件坐标系 G54。G54 一般都设定为工件上表面的几何中心。

操作步骤如下：

1）刀具的安装：如图 2−36 所示，从左至右，分别是刀柄、锁紧套、弹簧夹头、立铣刀、勾形扳手。先将刀柄放在锁刀座上，锁刀座上的键对准刀柄上的键槽，卡住，使刀柄无法转动；将弹簧夹头套在锁紧套上，然后将锁紧套旋入刀柄；将立铣刀从弹簧夹头插入，注意装刀高度，装刀高度必须大于零件加工深度 5～10mm；最后用勾形扳手将锁紧套拧紧，如图 2−37 所示。

2）按下机床控制面板的“jog”键，进入手动模式，左手拿住已装好的刀具总成，将刀具总成上的键槽对准主轴孔上的键，右手按下机床主轴的“刀具松开”按钮，将刀具总成快速送入主轴，听见“噗”的一声，松开“刀具松开”按钮，即可将刀柄正确地安装在主轴上。如果装不上，可以反复操作几次。



图 2-36 刀具零件图



图 2-37 刀具安装图

3）按下机床控制面板的“Spindle Right”键，使主轴以 500r/mim 的速度正转，按下屏幕右侧软键，切换到机床坐标系（MCS），利用手轮快速移动工作台和主轴，让刀具靠近工件的左侧，目测刀尖低于工件表面 3～5mm，改用微调操作，让刀具慢慢接触到工件左侧，直到听到轻微切削或者刮擦声，同时可以看到有少量切屑出现，如图 2-38 所示，记此时的 X 轴坐标为 X1。



图 2-38 X 轴左边对刀

4）同时按下 CNC 操作面板的“SHIFT”键和“=”键，调出 SIEMENS 系统自带的计算器，输入−327.881，此时 X1=−327.881，如图 2-39 所示。

5）利用手轮抬起刀具至工件上表面之上，快速移动工作台和主轴，让刀具靠近工件右侧，与步骤 3）相同，改用微调操作，让刀具慢慢接触到工件右侧，直到听到轻微切削或者刮擦声，同时可以看到有少量切屑出现，如图 2-40 所示，记此时的 X 轴坐标为 X2，此时 X2=−235.743。

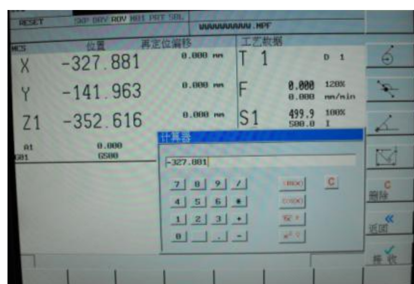


图 2-39 X 轴左边对刀屏幕显示



图 2-40 X 轴右边对刀

6）由理论计算得知，工件坐标系原点在机床坐标系中的 X 坐标值为（X1+X2）/2，在屏幕上直接输入−235.743，如图 2-41 所示，按下机床 CNC 操作面板上的“INPUT”键，计算出 X1+X2 的值，再按“/”、“2”键，求得（X1+X2）/2，按下“INPUT”得出（X1+X2）/2=−281.812，如图 2-42 所示。

7）抬起 Z 轴，移动工作台到 X=−281.812 处，按下屏幕的软键“返回”，退出计算器显示。按下屏幕下方软键“测量工件”，用 CNC 操作面板的“SELECT”键切换到“G54”，

按下右侧软键“计算”，G54 的 X 的数据就直接写入到“OFFSET PRARM”中了，如图 2−43 所示。也可以直接在“OFFSET PRARM”G54 的 X 处输入−281.812，按下“INPUT”键确定，如图 2−44 所示。

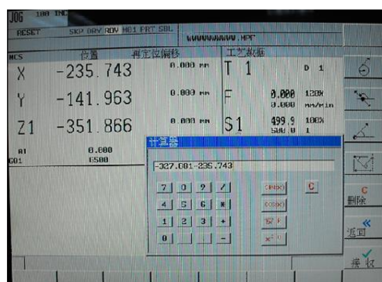


图 2−41　X 轴右边对刀屏幕显示



图 2−42　X 轴 G54 的计算值

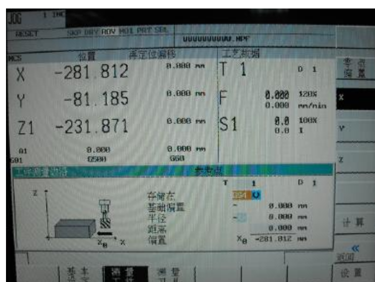


图 2−43　X 轴 G54 设定

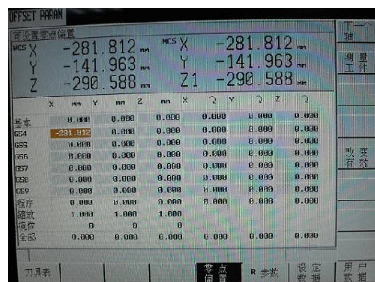


图 2−44　X 轴 G54 参数

8）Y 轴方向对刀与 X 轴一样，所不同的是屏幕右侧的软键应选择“Y”。Z 轴方向对刀，利用手轮快速移动主轴，让刀具靠近工件的表面，目测快要接触到时改用微调操作，让刀具慢慢接触到工件表面，直到听到轻微切削或者刮擦声，同时可以看到有少量切屑出现，如图 2−45 所示，记此时的 Z 轴坐标为 Z1。不需调用计算器，按下屏幕下方软键“测量工件”，用 CNC 操作面板的“SELECT”键切换到“G54”，按下屏幕右侧软键“Z”，按下软键“计算”即可，如图 2−46 所示。



图 2−45　Z 轴对刀



图 2−46　Z 轴 G54 设定



注：

由于每个操作者对微量切削的感觉程度不同，所以试切法对刀精度并不高。这种方法主要应用在要求不高或者没有寻边器的场合。

2. **换刀**

在用数控铣床加工时，一把刀加工结束后需要更换刀具，进行下一把刀的加工。刀具在加工过程中出现“断刀”，也需要更换刀具。换刀后由于每把刀的装刀长短不一，就需要重新对刀。

一般来讲，在进行第一把刀对刀时，工件坐标系 G54 的 Z 轴设定为工件毛坯上表面。此时，用刀杆测量出工件毛坯上表面到某个基准平面（如平口钳的钳口平面或机床工作台平面）的距离 h 。h 在整个加工过程中是一个固定值，并不随加工表面的铣削而改变。第一把刀加工完后，卸下刀具，换上第二把刀，以同一把刀杆来测量第二把刀在基准平面时的 Z 轴机床坐标系的数值，然后向上移动 h，就能够保证第二把刀仍旧在工件坐标系 G54 的 Z=0 平面上，如图 2−47 所示。

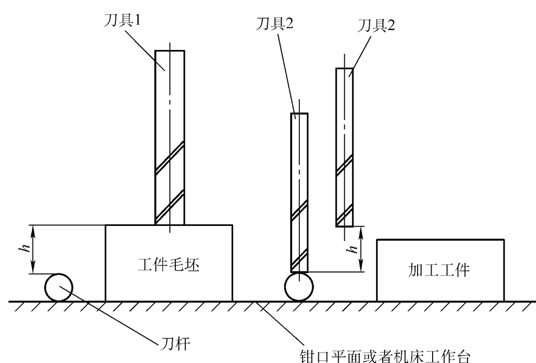


图 2−47　换刀示意图

需要注意的是：① h 一般在第一把刀对刀时进行测量，以后无论工件上表面毛坯是否被铣削掉，均不影响后续刀具的换刀和对刀。②第一把刀需对 X、Y、Z 方向进行对刀，后续刀具则只需 Z 向重新设定即可，X、Y 方向不需重新对刀。

具体操作步骤如下：

1）如图 2−47 所示，用第一把刀 $\phi 10$ 刀加工时，G54 的 Z=−350.293，第一把刀加工完以后，先不拆下，用一把 $\phi 8$ 刀的刀杆过渡，将刀杆放在平口钳的钳口位置来回滚动，用手轮的 Z 向来调整第一把刀 $\phi 10$ 刀的高度，让第一把刀 $\phi 10$ 刀的刀尖刚好能够通过 $\phi 8$ 刀的刀杆，记下此时 Z 轴的机床坐标系（MCS）的读数 Z′，假设 Z′＝−366.458。

2）同时按下 CNC 操作面板的“SHIFT”键和“=”键，调出计算器，计算此时 h=Z−Z′=−350.293−（−366.458）=16.165，此值在以后所有的换刀过程中不变。

3）换上第二把刀 $\phi 5$ 麻花钻，同样用这把 $\phi 8$ 刀的刀杆过渡，将刀杆放在平口钳的钳口位置来回滚动，用手轮的 Z 向来调整第二把刀 $\phi 5$ 麻花钻的高度，让第二把刀 $\phi 5$ 麻花钻的刀尖刚好能够通过 $\phi 8$ 刀的刀杆，记下此时 Z 轴机床坐标系（MCS）的读数 Z″，假设 Z″=−357.769。

4）按下屏幕下方软键“测量工件”，用 CNC 操作面板的“SELECT”键切换到“G54”，按下屏幕右侧软键“Z”，用光标键移动到“长度”，用“SELECT”键切换为“+”，距离设定为 16.165，按下软键“计算”即可，如图 2−48 所示。

5）G54 工件坐标系的验证：按下机床控制面板的“MDA”键，进入 MDA 方式，手动输入 G54 G1 Z100 F300，按下“INSERT”键输入 X0Y0，按下“INSERT”键再次输入，按

下“Cycle Start”循环启动键，观察主轴是否移动到零点的正上方 100 处，还可以用手轮摇到快要接近 Z0 处，目测 G54 零点是否正确。



图 2−48　换刀后 Z 轴 G54 的设定

注：

不能直接输入“G54 G0 X0 Y0 Z0”来验证，因为这种方法是空间快速定位，速度很快，容易撞刀，必须先将 Z 轴抬高到安全高度才能验证。

2.4.4　程序的录入

操作步骤如下：

1）打开与机床相连的计算机，确保机床的 RS-232 接口与计算机连接完好。双击桌面图标，启动 SINUMERIK 802D 传输程序，如图 2−49 所示。



图 2−49　SINUMERIK 802D 传输程序界面

2）机床方：按下机床 CNC 操作面板的“PROGRAM”程序操作区域键或者“PROGRAM MANAGER”程序管理操作区域键，进入程序管理操作界面，如图 2−50 所示。按下软键“读入”，机床准备接收数据。程序管理操作界面各软键功能见表 2−11。程序控制和程序段搜索功能见表 2−12。



图 2-50　程序管理操作界面

表 2-11　程序管理操作界面各软键功能表

软　　键	功　　能
程序	显示程序目录
执行	选择待执行的程序，在下次按数控启动键时启动该程序
新程序	新建一个程序
复制	把所选择的程序复制到另一个程序中
打开	打开待加工的程序
删除	删除所选程序
重命名	重命名所选程序
读出	通过 RS-232 接口把程序从机床传回计算机
读入	通过 RS-232 接口把程序从计算机传至机床
循环/用户循环	显示 SIEMENS 标准循环目录，可以进行交互式编程

表 2-12　程序控制和程序段搜索功能表

程 序 控 制	显示用于选择程序控制的方式，如程序测试、程序跳跃等
程序测试（PRT）	测试程序，所有轴锁定
空运行进给（DRY）	进给轴以空运行速度运行，此时进给编程参数无效
有条件停止（M01）	程序执行到 M01 时停止运行
跳过（SKP）	跳过有“/”程序段，不执行该段程序
单一程序段（SBL）	程序按单段执行
ROV 有效	快速修调键对快速进给有效
程序段搜索	查找程序中任意一段
计算轮廓	程序段搜索，计算照常进行
启动搜索	程序段搜索，直至程序段终点位置
不带计算	程序段搜索，不进行计算
搜索断点	光标定位到中断点所在的主程序段，在子程序中自动设定搜索目标
搜索	提供“行查找”和“文本查找”
模拟	显示刀具轨迹
程序修正	修改错误程序，所有修改被立即存储。一般用于正在执行的程序
G 功能	显示有效的 G 功能
辅助功能	显示有效的辅助功能和 M 功能
轴进给	显示轴进给窗口
程序顺序	从 7 段程序转到 3 段程序
MCS/WCS 相对坐标	选择机床坐标系、工件坐标系或者相对坐标系
外部程序	通过 RS-232 接口以 DNC 方式加工

3）计算机方：在 SINUMERIK 802D 传输程序对话框里，单击“Send Data”，选择所要传输的程序，如图 2-51 所示，这里选择文件 CX-D10.NC。单击“打开”，程序将会发送至机床。传输完毕后按下软键“停止”，如图 2-52 所示。此时可以在程序管理界面看到该文件，如图 2-53 所示。

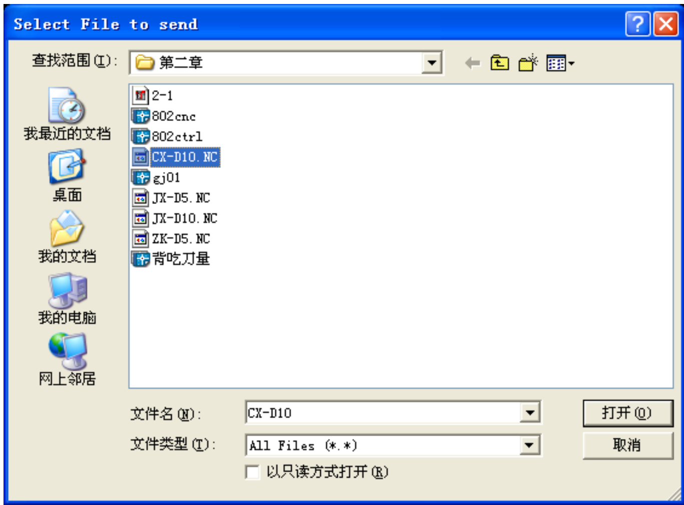


图 2-51 选择传输的程序文件

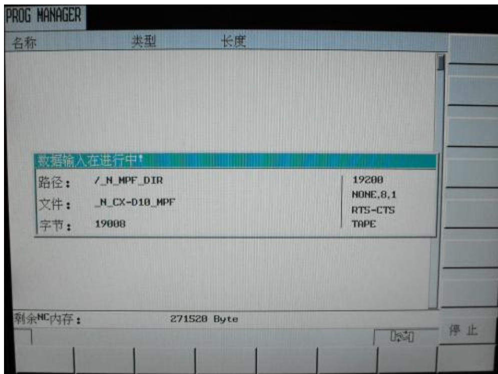


图 2-52 程序传输完毕

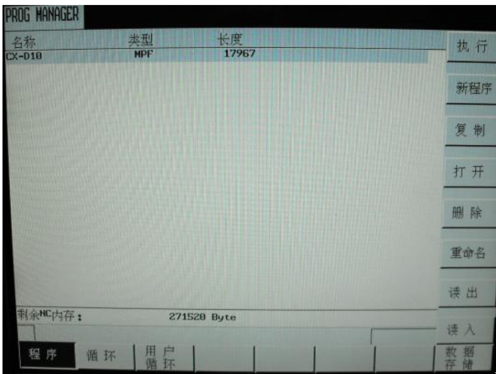


图 2-53 程序 CX-D10.MPF

2.4.5 机床模拟仿真

操作步骤如下：

1）用光标键选择该文件 CX-D10.MPF，按下软键“执行”，按下机床 CNC 操作面板的“POSITION”加工操作区域键，切换到加工操作界面，按下机床控制面板的“AUTO”自动方式键，进入待自动加工状态。

2）按下屏幕下方软键“程序控制”，分别按下屏幕右侧软键“程序测试”“空运行进给”，屏幕上方的 PRT、DRY 变亮，如图 2-54 所示。

3）按下机床控制面板的“Cycle Start”循环启动键，进入模拟运行，按下屏幕下方的

软键“模拟”，此时机床的所有轴均被锁定。可以观看程序的运行状态和刀具路径轨迹，如图 2−55 所示。如果想停止，直接按下机床控制面板的“Reset”键复位即可。

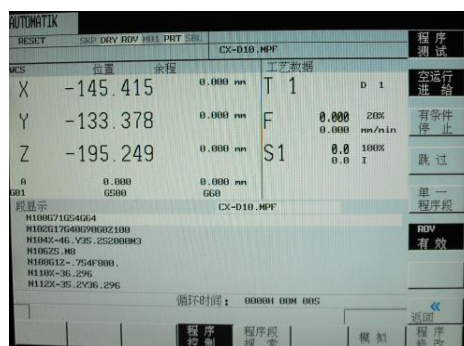


图 2−54　程序测试

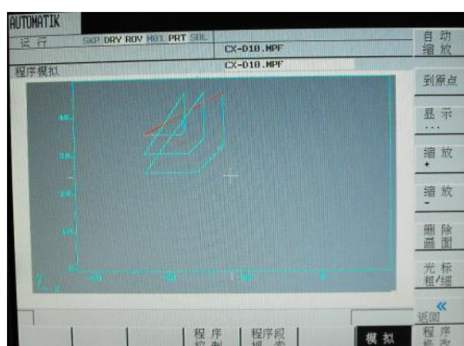


图 2−55　模拟运行刀具路径轨迹

2.4.6　零件的加工

完成零件的装夹、对刀和模拟运行后，就可以正式进行加工了。在模拟仿真的基础上，再次按下“程序控制”软键里面的“程序测试”和“空运行进给”，取消“程序测试”和“空运行进给”。

操作步骤如下：

1）按下软键“单一程序段”，打开“单段”，SBL 灯亮，或者按下机床控制面板“Single Block”键。

2）将机床控制面板的“进给速度修调”旋钮旋到 10%以下。

3）按下“Cycle Start”循环启动键，开始加工。首件试切时一定要注意刀具切入工件瞬间的情况，发现异常应立即按下“Cycle Stop”循环停止键，然后用“Reset”键复位。在“jog”方式下用手轮或机床控制面板的“+Z”键抬起 Z 轴，找出问题，重新设定 G54 或重新编程。若没有问题，可以再次按下“Single Block”键取消“单段”，将“进给速度修调”旋钮旋到正常值 100%，按下“Cycle Start”循环启动键继续加工，如图 2−56 所示。

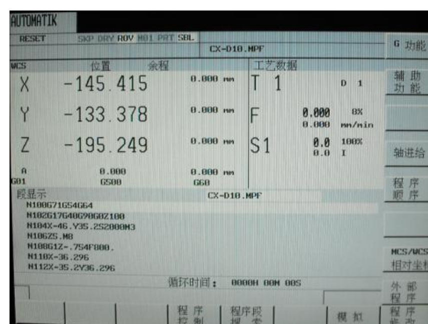


图 2−56　自动方式运行

4）采用刀具集中法划分工序，将每一把刀的粗、精加工工序安排在一起，方便一次对刀后完成该刀具的全部加工，在该刀具的最后一道精加工工序之前安排测量环节，及时调整 XY 或 Z 方向的预留量，该预留量对该刀具以后的所有精加工都是一样的；然后换刀，开始第二把刀的加工，直至所有程序加工完毕。

5）机床关机：按下“jog”键，在手动模式下，抬起 Z 轴至安全高度，按下机床控制面板“紧急停止”按钮，按下控制器“断开”，关闭机床侧面总电源。



注：

步骤 4）中“该预留量对该刀具以后的所有精加工都是一样的”应该这样理解：加工的误差应主要来自该刀具的 Z 向对刀误差和来自 XY 方向的刀具半径制造误差，对于同一把刀来说，在精加工工序之前，只需对一个深度 Z 方向尺寸和一个 XY 方向尺寸进行测量即可，在 Mastercam 精加工步骤里调整 XY 和 Z 向预留量，该预留量对于该刀具精加工其他步骤的尺寸都是有效的。

本 章 小 结

本章通过一个简单的例子,介绍了利用 SINUMERIK 802D 数控铣床从编程到加工的全过程，包括 CAD 建模、Mastercam 刀具路径的编辑和零件的加工。

刀具路径的编辑从来都没有一个固定的模式，每个人都有自己的思路和不同的方法。本例采取了几个比较有特点的工艺方法，供大家参考。

1）不建立实体，全部采用二维轮廓加工。

2）ϕ5 键槽铣刀铣 17mm×5mm 的槽时，利用铣刀的直径走直线来代替 17mm×5mm 的槽轮廓加工，实际用 ϕ5 刀加工刀具路径是生成不出来的，XY 向预留量必须设定为−0.01 才有可能。

3）加工 Y 形槽直接用 ϕ5 键槽铣刀垂直下刀，下刀速率较慢。

4）同一把刀的粗、精加工之间留有余量，保留测量环节，方便精加工时及时补正。

对于多数模型特征为二维线框的零件，Mastercam 的加工方式灵活而多变，有面铣、轮廓铣、挖槽，还提供渐降斜插、平面多次铣削等方式，能够满足绝大多数情况下零件的加工并保证精度，无需实体建模，这是相比于其他 CAM 软件（如 UG）的一大优势和特色。

本章还介绍了 SINUMERIK 802D 数控铣床面板的基本操作，如钳口的校正、零件的装夹、对刀和换刀、程序的录入、模拟仿真加工和零件的自动加工等。这些都是一个数控加工人员必须熟练掌握的。复杂的对刀、异常情况的处理和零件精度的保证在后续章节里介绍。

值得一提的是，实际提供的工件毛坯某个方向上的尺寸（X 或 Y）往往比图样上给定的大 1～2mm，这主要是由于标准型材下料锯切误差引起的。本例没有对毛坯上表面和外形轮廓进行加工，主要是遵守图样的要求。也可以在第一道工序上加上面铣和轮廓铣来保证尺寸 80mm×80mm，作为中级工考题，掌握基本的方法即可。

第 3 章　经典实例二

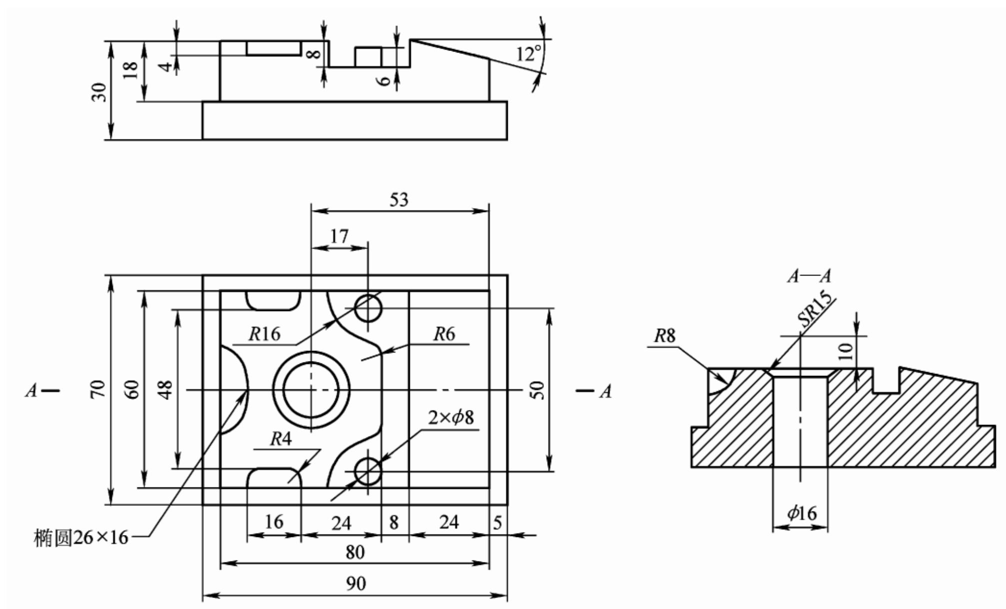


图 3-1　经典实例二

本例是数控铣高级工常见考题，材料为铝，备料尺寸为 90mm×70mm×30mm。

技术要求：

1）以小批量生产条件编程。

2）不准用砂布及锉刀等修饰表面。

3）未注公差尺寸按 GB/T 1804—m。

3.1　零件的工艺分析

读图 3-1 可知，零件形状有二维轮廓、椭圆球面、圆球面、斜面、台阶、圆柱等结构，属于典型的用 Mastercam 加工的零件，需进行曲面或实体的建模。

刀具的选择要综合考虑各种情况来定，一般选择大刀粗加工，小刀精加工，刀具的半径一般小于曲面的曲率或圆角的半径，或者略小于最窄通过尺寸。本例的特点是：假设采用 $\phi 6$ 刀挖“】”形槽时，有两个 $\phi 8$ 的凸台圆柱作为岛屿，而且中间最窄的通过尺寸为 8mm，通过仿真加工可以看出，$\phi 6$ 的刀无法一次粗加工完成，只能选用更小的刀。通过仿真可以看出换用 $\phi 5$ 的刀正好，所以采用 $\phi 5$ 的刀。

综合考虑，本例加工采用ϕ12、ϕ5 的 4 刃立铣刀和ϕ6*R*3 球刀，各工序加工内容及切削参数见表 3-1。

表 3-1　各工序刀具及切削参数

序　　号	加 工 部 位	刀　　具	主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	二维轮廓粗、精加工，曲面粗加工	ϕ12 立铣刀	2000	粗：800，精：400
2	一般挖槽，二维轮廓的粗、精加工	ϕ5 立铣刀	2500	粗：800，精：400
3	曲面精加工	ϕ6*R*3 球刀	3000	400

3.2　零件的 CAD 建模

3.2.1　二维造型

操作步骤如下：

1）单击萤幕左侧副菜单区的作图深度 Z，在系统提示区输入：–18，回车，设定新的作图深度：Z=–18。

2）绘出 80mm×60mm、90mm×70mm 矩形，以原点为抓点方式。

3）设定作图深度 Z=0，在图 3-2 所示对话框中绘出半个椭圆，抓点方式选择矩形 80mm×60mm 一条边的中点。绘制ϕ16 的圆，中心点为 X–13 Y0。

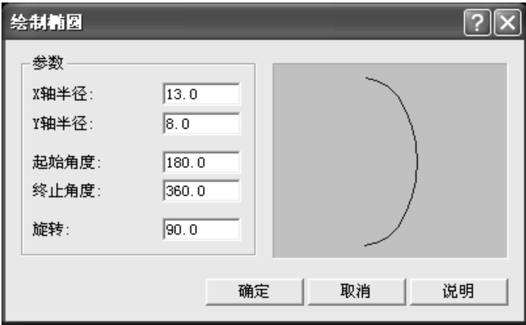


图 3-2 “绘制椭圆”对话框

4）以 X16 Y37 和 X16 Y–37 两点画直线，在主菜单“转换”里选择“平移”“直角坐标”，分别在系统提示区输入 X–8、X–16，以“复制”方式复制该直线到左边，平移距离 8mm 和 16mm。

5）作圆弧 *R*16 两处，分别倒圆角 *R*6 两处，打断并修剪多余的圆弧和直线，将端点连接起来，如图 3-3 左图所示。

6）作 16mm×12mm 矩形，在选项里设定圆角半径 *R*4，抓点方式选择 X–24 Y30、X–24 Y–30，作出带有 *R*4 圆角的矩形，如图 3-3 右图所示。

7）将萤幕视图切换到“前视图”，以极坐标方式画线，起始点：X16 Y0，角度：–12°，长度：30，分别以该斜线的两个端点到 Y10 作垂直线，将两条垂直线的另一个端点连接起来。

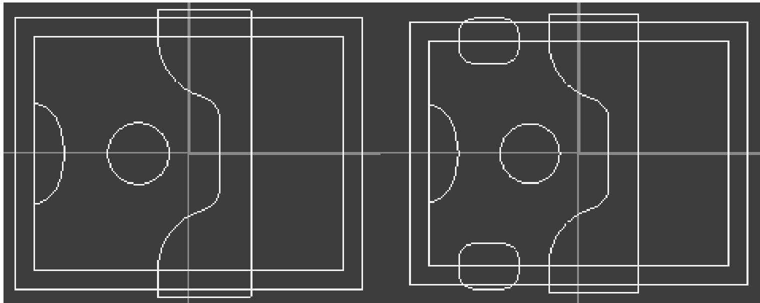


图 3-3　步骤 5）和 6）示意图

8）将萤幕视图切换到“俯视图”，将作图深度设定为 Z=–2，绘制 ϕ8 的圆两处，中心点为 X4 Y25 和 X4 Y–25，整个二维图形如图 3-4 所示。

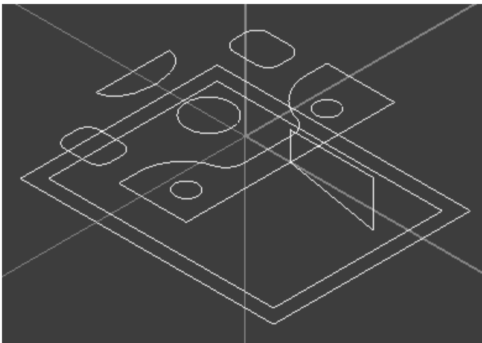


图 3-4　二维图形的最终效果

3.2.2　实体及曲面建模

操作步骤如下：

1）为了管理方便，单击副菜单区的“作图层别”，将第 1 层名称设定为“line”，输入编号“2”的层，设定名称为“solid”，将鼠标移动到图示位置，单击，设定当前作图层别“2”，点选层别的显示为“使用的”，单击“确定”退出，如图 3-5 所示。



图 3-5　层的管理

2）单击副菜单区的“作图颜色”，设定新的作图颜色为“9”（蓝色），单击“确定”退出，如图 3−6 所示。



图 3−6　作图颜色的设定

3）将萤幕视角设定为“等角视图”，在主菜单区选择“实体”“挤出”“串联”，图形选择 90mm×70mm 矩形，单击“执行”，方向向下，单击“执行”，弹出“实体挤出的设定”对话框，输入距离：12，单击“确定”，如图 3−7 所示。



图 3−7　实体挤出的设定

4）同理，选择“挤出”“串联”，图形选择 80mm×60mm 矩形，单击“执行”“全部换向”，方向向上，单击“执行”，弹出“实体挤出的设定”对话框，输入距离：18，点选“增加凸缘”。

5）同理，选择“挤出”“串联”，选择“】”形，单击“执行”，方向向下，单击“执行”，弹出“实体挤出的设定”对话框，输入距离：8，点选“切割主体”。

6）同理作出其他需要挤出的串联图形。需要说明的是，在作 ϕ16 孔时，点选“切割主体”和“全部贯穿”；作 ϕ8 圆柱时，如果两个圆的方向不一致，选择“单一换向”，实体之挤出操作选择“增加凸缘”；12° 斜面勾选“两边同时延伸”，实体之挤出操作选择“切割主体”；如果两个 16mm×12mm 的矩形的方向不一致，选择“单一换向”，实体之挤出操作选择“切割主体”。

7）选择“旋转”，图形选择“半椭圆”，旋转轴为“直边”，角度：0°～360°，选择“切割主体”。

8）单击“实体”“下一页”“基本实体”“圆球”，单击“半径”，输入：15，基准点：X-13Y0Z10，作出圆球，回上层功能，单击“布尔运算”“切割”，选择目标主体“整个实体”，工件实体选择“圆球”，单击“执行”。实体建模效果如图 3-8 所示。

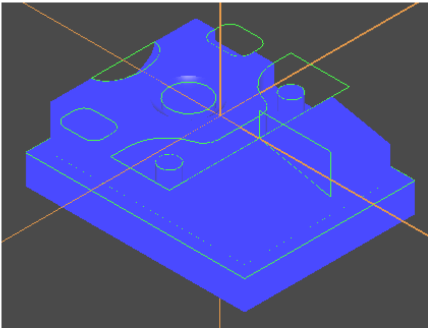


图 3-8　实体建模图



注：

图层的设定是为了方便管理，可以显示某层图素，也可以不显示。实体建模中挤出方向的选择要经过动态旋转才能看出，多个物体挤出既可以全部换向，也可以单个换向，作图的时候应注意看清。

9）单击副菜单区的“作图层别”，输入编号“3”的层，名称为“surface”，并设为当前层。单击主菜单区“绘图”“曲面”“下一页”“由实体产生”，图形选择刚才建立的实体，单击“执行”，将实体转化为曲面。在“层别管理员”对话框中将鼠标移动到第 2 层“可看见的图层”，单击不显示第 2 层，如图 3-9 所示。

图层编号	可看见的图层	限定的图层：关	图层名称	图层群
1	✓		line	
2			solid	
3	✓		surface	

图 3-9　不显示层

3.3　零件的 CAM 刀具路径编辑

在开始加工之前，还需对一些图素作必要的处理，以方便加工，比如 6mm×16mm 的矩形槽，采用外形铣削要比 16mm×12mm 矩形挖槽方便。方法是：将 16mm×12mm 的矩形框通过平移变换，以“复制”的方式复制到 Z=10 处，然后删除多余的封闭线段和圆弧；选取斜面的左右单一边界，作出斜线，并延长 2mm，如图 3-10 所示。

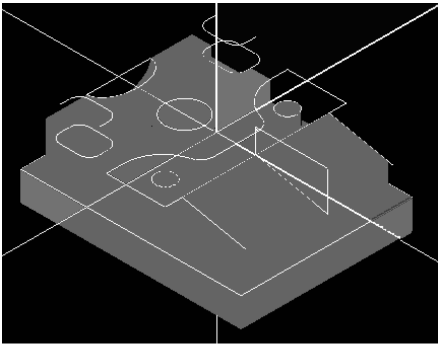


图 3-10　CAM 的预处理

操作步骤如下：

1）选择“外形铣削（2D）”，从刀库中选择直径为 12mm 的平刀，加工 80mm×60mm 矩形。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800.0、下刀速率：400.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油。在“外形铣削参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：–18.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，勾选“Z 轴分层铣深”，勾选“进/退刀向量”，参数默认。在“Z 轴分层铣深设定”对话框，输入最大粗切深度：0.8，勾选“不提刀”，其余默认，如图 3−11、图 3−12 所示。

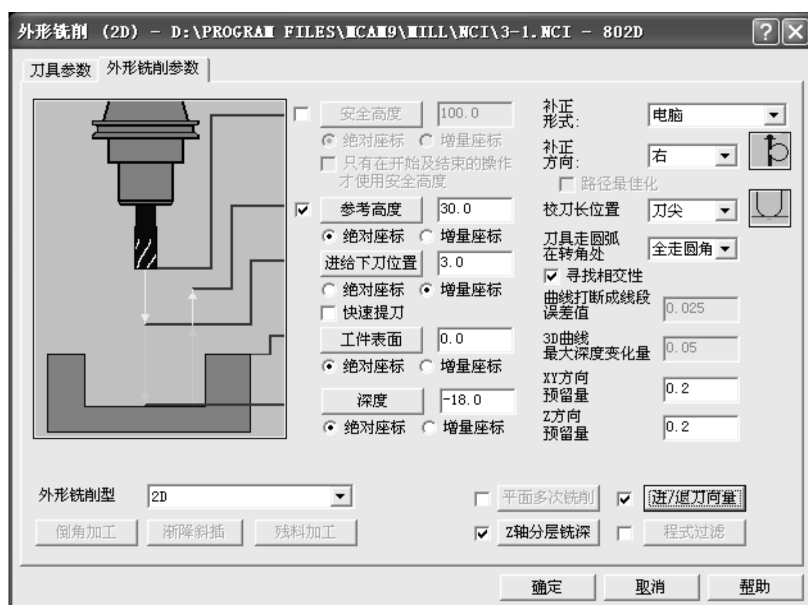


图 3−11　外形铣削参数

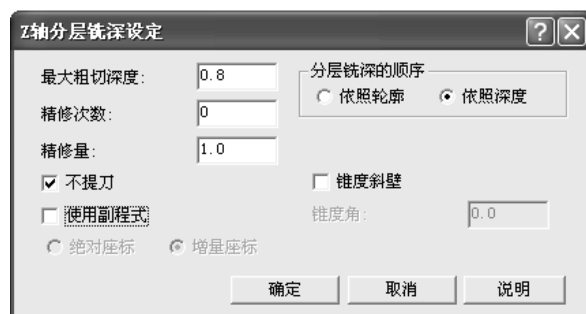


图 3−12　Z 轴分层铣深参数

2）选择“等高外形”，加工半椭球面，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1）。在“曲面加工参数”选项卡中输入干涉的曲面/实体预留量：0.2，选择与半椭球面相邻的上表面和侧面为干涉面，干涉的曲面/实体预留量：0.2，如图 3−13 所示；在“等高外形粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.6，勾选“进/退刀　切弧/切线”，参数

默认，勾选“切削顺序最佳化”“减少插刀情形”，开放式轮廓的方向：点选“双向”，其余默认，如图 3-14 所示。

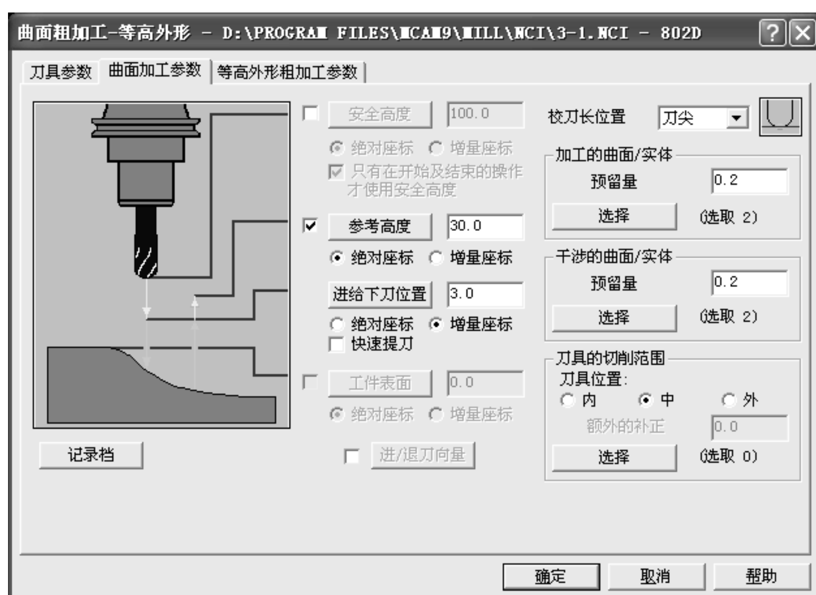


图 3-13　步骤 2）曲面加工参数



图 3-14　等高外形粗加工参数

3）选择“螺旋式渐降斜插式外形铣削”，加工 ϕ16 内孔。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1），工件表面：0.0，深度：–31.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，在“外形铣削的渐降斜插”对话框中点选“深度”，设定斜插深度：0.5，如图 3-15 所示。

图 3-15　螺旋式渐降斜插铣削参数

4）选择“直纹加工”加工斜面，刀具参数均同步骤 1），图形选择两条斜线，切削方式点选“双向”，截断方向的切削量：0.3，预留量：0.2，安全高度：10.0，电脑补正位置：右，修整平面 1：点选“Y”，值：–40.0，修整平面 2：点选“Y”，值：40.0，其余默认，如图 3-16 所示。

图 3-16　直纹加工参数

5）选择“等高外形”，加工 *SR*15 球面，在“曲面加工参数”选项卡中输入加工的曲面/实体预留量：0.2，选择上表面与 ϕ16 的圆柱面为干涉面，干涉的曲面/实体预留量：0.2；

在“等高外形粗加工参数”选项卡中设定 Z 轴最大进给量：0.6，点选两区段间的路径“斜插”，参数默认，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，如图 3−17 所示。将以上步骤 1）～5）设定为群组“粗铣 D12”。

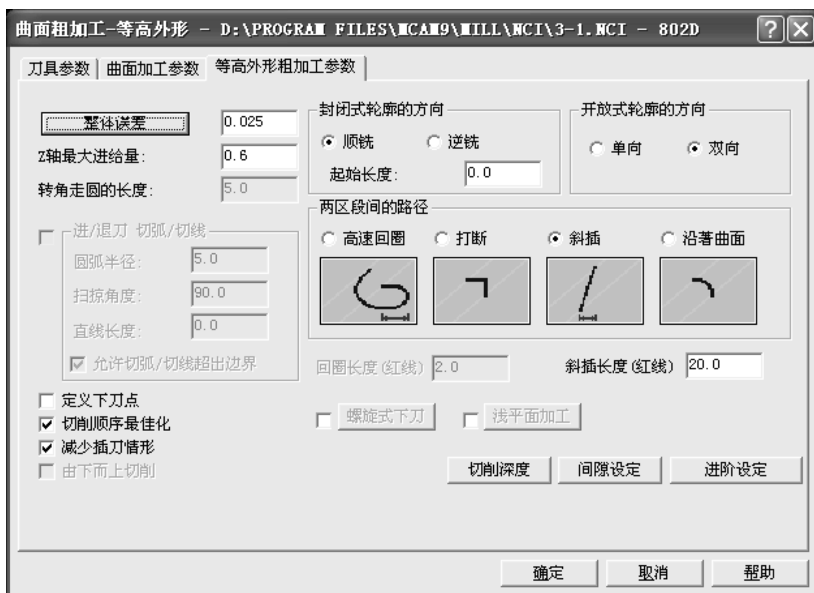


图 3−17　等高外形粗加工参数

6）新建群组“精铣 D12”，复制步骤 1），在“刀具参数”选项卡中将进给率从 800.0 改为 400.0，下刀速率从 400.0 改为 200.0，其余参数同步骤 1）；在“外形铣削参数”选项卡中设定 XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0；在“Z 轴分层铣深设定”对话框里设定最大粗切深度：10.0，勾选“不提刀”，其余参数均同步骤 1），如图 3−18 所示。

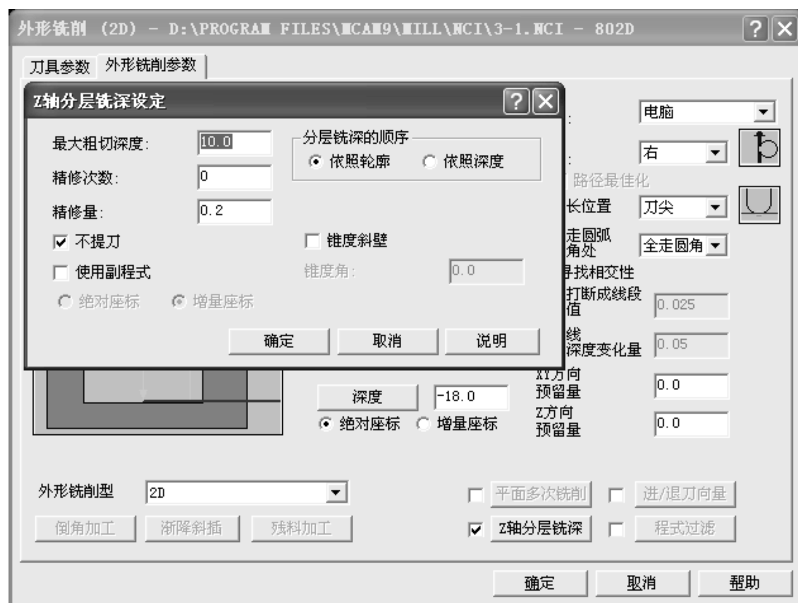


图 3−18　外形铣削参数

7）选择“外形铣削（2D）”，对ϕ16 孔精加工，采用分层铣深，深度设定：–31.0，勾选“进/退刀量”，进入和离开均点选“垂直”，长度设定为 10%，圆弧设定为 0%，其余默认，如图 3–19 所示。其余刀具参数、外形铣削参数和 Z 轴分层铣深设定均同步骤 6）。



图 3–19　进/退刀量参数

8）新建群组“粗铣 D5”，从刀库中选择直径为 5mm 的平刀，选择“挖槽”加工方式，图形选择图 3–20 左所示；在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800.0、下刀速率：400.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“挖槽参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：–2.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，勾选“Z 轴分层铣深”；在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：0.3，勾选“不提刀”，其余默认，如图 3–21 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中不勾选“精修”，勾选“刀具路径最佳化（避免插刀）”，其余默认，如图 3–22 所示。

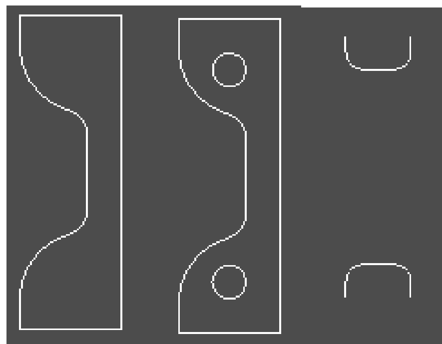


图 3–20　加工图形



图 3-21　挖槽参数

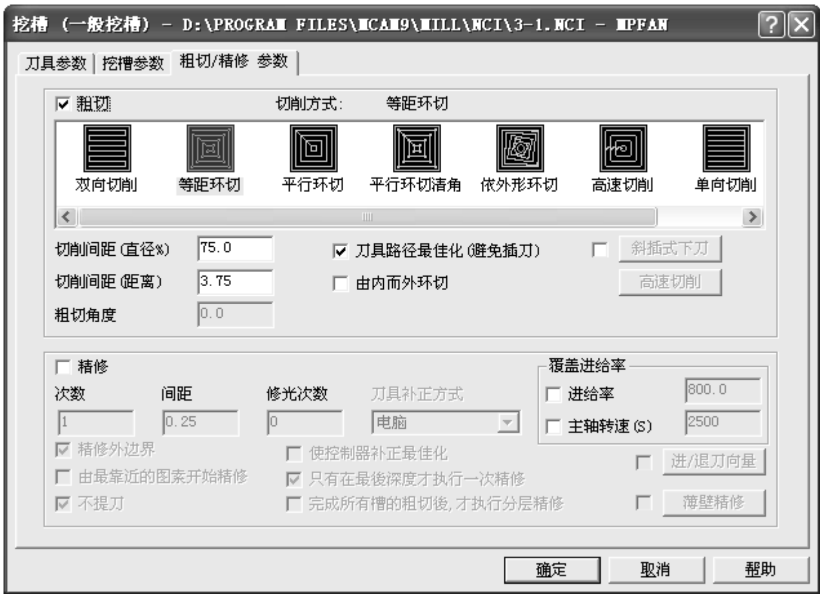


图 3-22　粗切/精修参数



注：

若在刀具路径模拟或实体切削验证过程中发现有在工件表面垂直下刀的现象，可以在“操作管理员”对话框中选择“挖槽”，单击“图形”，更改串联起始点，重新计算即可，如图 3-23 所示。

9）继续用直径为 5mm 的平刀“挖槽”，图形选择图 3-20 中所示，挖槽参数如图 3-24

所示，工件表面：–2.0，深度：–8.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，其余刀具参数、挖槽参数、分层铣深参数和粗切/精修参数均与步骤 8）相同。

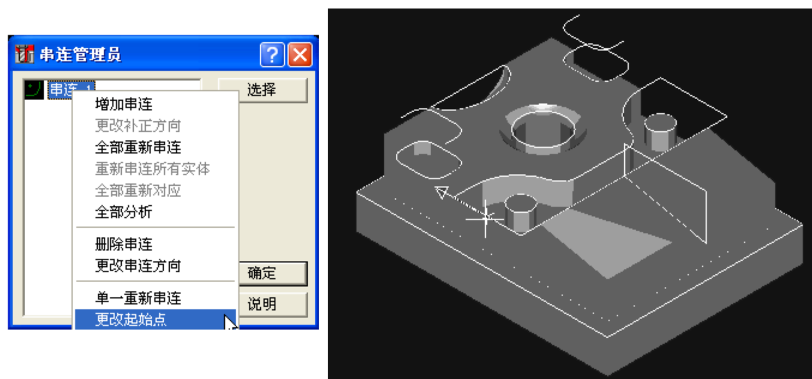


图 3-23　更改串联起始点

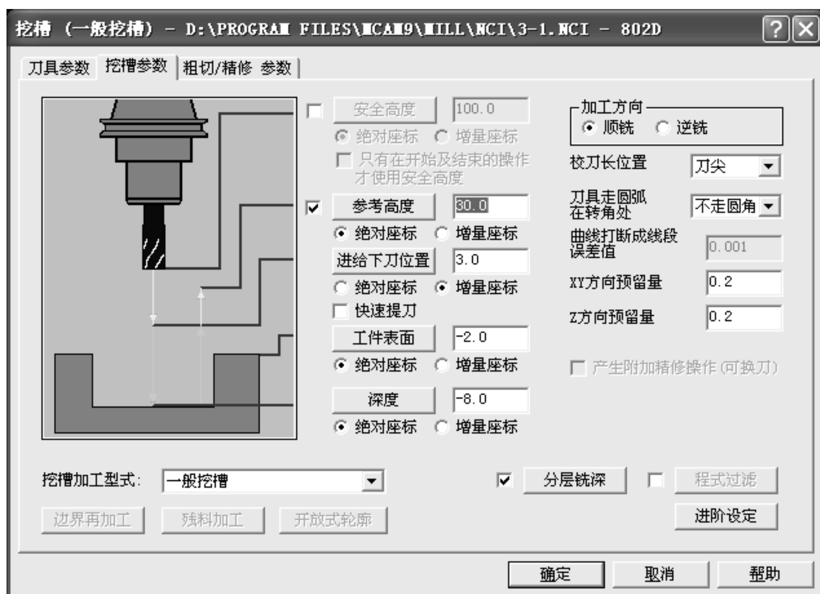


图 3-24　挖槽参数

10）继续用直径为 5mm 的平刀“外形铣削”加工，图形选择图 3-20 右所示，在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：0.0、深度：–4.0、XY 方向预留量：0.2、Z 方向预留量：0.2，勾选“Z 轴分层铣深”“平面多次铣削”，其余刀具参数、外形铣削参数和 Z 轴分层铣深参数与步骤 8）相同。在“XY 平面多次铣削设置”对话框中设定次数：2、间距：3.0，其余默认，如图 3-25 所示。

11）新建操作群组“精铣 D5”，复制步骤 10），在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400.0、下刀速率：200.0；在“外形铣削参数”选项卡中不勾选“Z 轴分层铣深”，设定 XY 方向预留量：0.0、Z 方向预留量：0.0，其余参数均与步骤 10）相同。

12）复制步骤 9），挖槽加工型式选择“使用岛屿深度挖槽”，在“刀具参数”选项卡中输

入进给率：400.0、下刀速率：200.0；在“挖槽参数”选项卡中设定工件表面：0.0、深度：−8.0、XY 方向预留量：0.0、Z 方向预留量：0.0，不勾选“分层铣深”，其余刀具参数、挖槽参数和粗切/精修参数与步骤 9）相同，如图 3−26 所示。

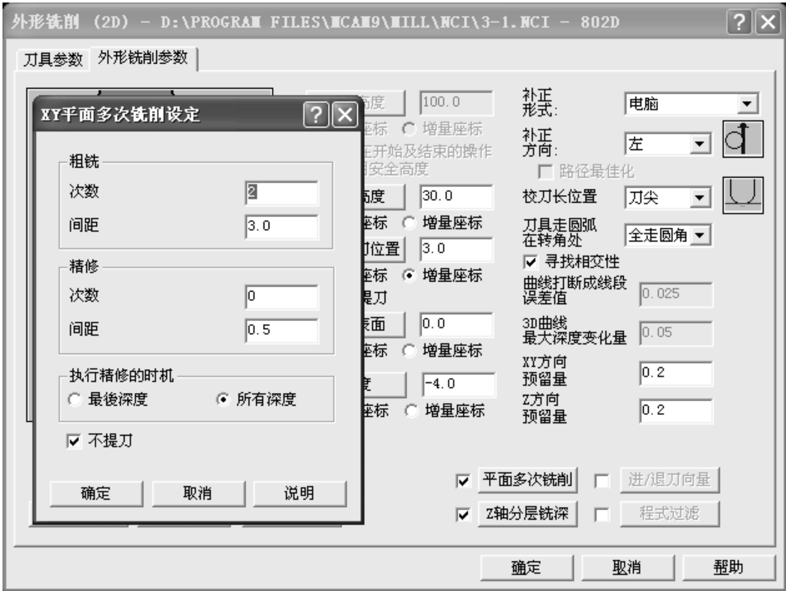


图 3−25　步骤 10）外形铣削参数

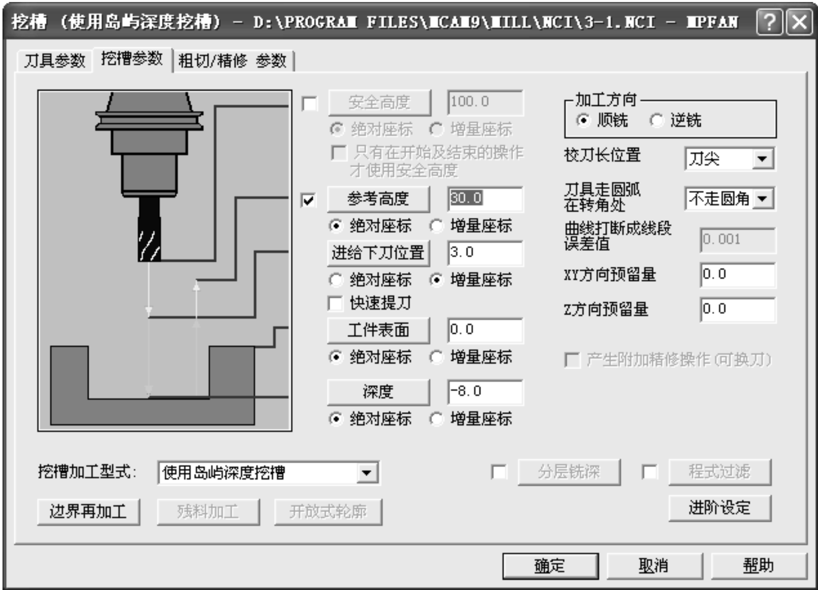


图 3−26　挖槽参数

13）新建操作群组“精铣 D6R3”，从刀库中选择$\phi 6R3$的球刀，选择“环绕等距”加工方式，加工半椭球面，加工面选择半椭球面，不选择干涉面；在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400.0、下刀速率：200.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：3000，冷却液：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中设定参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，

加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留量：0.0；在“3D 环绕等距加工参数”选项卡中设定整体误差：0.02，过滤的比率为 1:1，最大切削间距：0.2，单击“间隙设定”，点选容许间隙距离：3.6，位移小于容许间隙时，不提刀，选择“沿着曲面”，勾选“切削顺序最佳化”，其余参数默认，如图 3−27 所示。

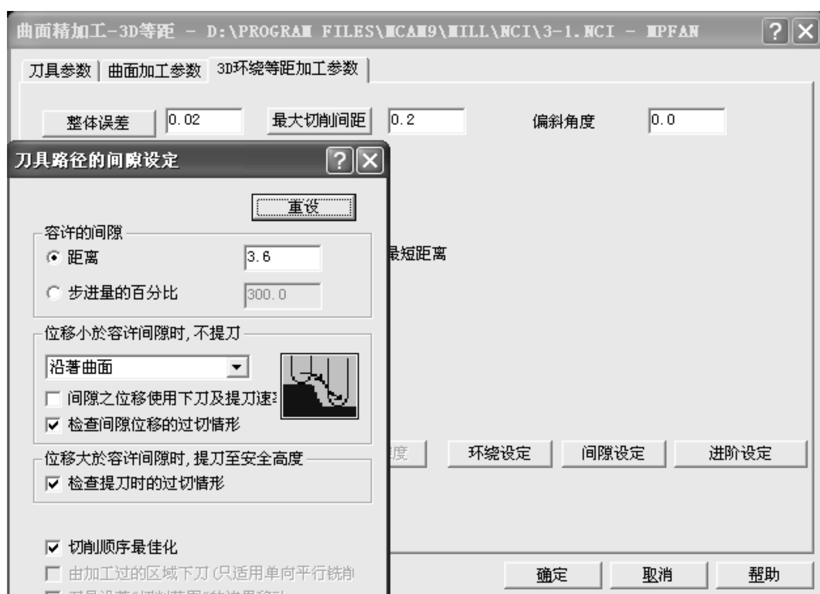


图 3−27　环绕等距加工参数

14）用ϕ6*R*3 球刀加工 *SR*15 球面，选择“曲面流线”加工方式，加工面选择 *SR*15 球面，不选择干涉面，刀具参数与曲面加工参数同步骤 13)；在“曲面流线精加工参数”选项卡中设定整体误差：0.02，过滤的比率为 1:1，截断方向的控制点选“距离”，设定为 0.2，切削方向切换为“沿着曲面环向”，其余参数默认，如图 3−28 所示。

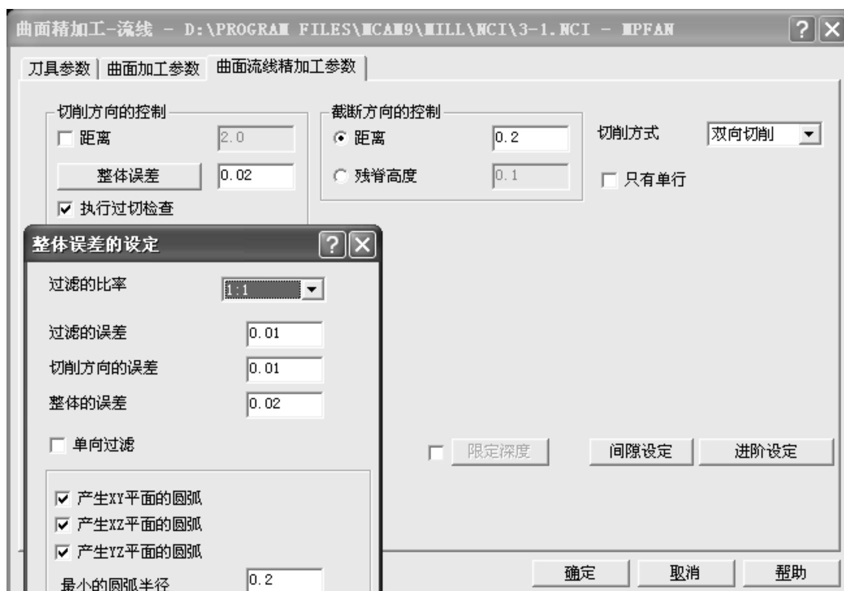


图 3−28　曲面流线精加工参数

15）用$\phi 6R3$ 球刀加工 12° 斜面，选择“平行铣削”方式，加工面选择斜面，干涉面选择斜面下部与之相邻的垂面，刀具参数与曲面加工参数同步骤 13)；在“平行铣削精加工参数”选项卡中设定最大切削间距：0.2、加工角度：90.0，切削方式：“双向切削”，其余默认，如图 3−29 所示。实体切削验证效果如图 3−30 所示。将本例保存为 3−1.mc9 文件。选择 802D.PST 后处理文件，分别将“粗铣 D12”“精铣 D12”“粗铣 D5”“精铣 D5”“精铣 D6R3”群组处理成 CX-D12.NC、JX-D12.NC、CX-D5.NC、JX-D5.NC、JX-D6R3.NC 文件。

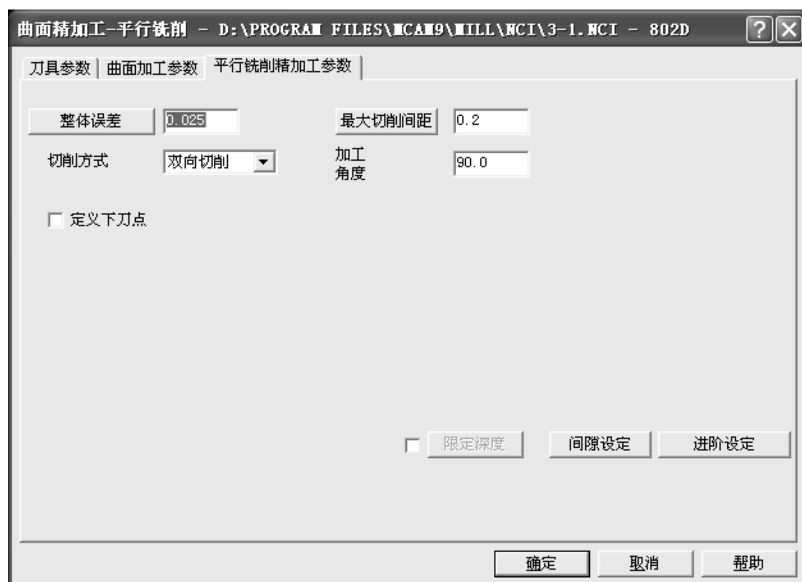


图 3−29　平行铣削精加工参数

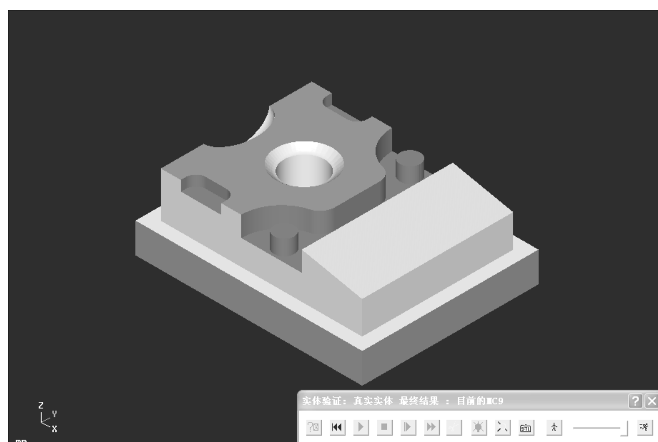


图 3−30　实体切削验证效果



注：

本例的特点在步骤 4）和步骤 14)，采用了线架构路径的直纹加工来加工斜面和采用曲面流线的方式来加工圆角，比起采用其他方式加工，数据量和加工效果要好一些。

3.4　SINUMERIK 802D 数控铣床加工操作技巧

3.4.1　对刀技巧

第 2 章介绍了一种常用的对刀方法——试切法，对刀方式采用的是双边对刀。根据对刀方式的不同和对刀工具的不同，可以分为单边对刀、双边对刀、刀具对刀和仪器对刀等，组合方式有 4 种，即单边刀具对刀、双边刀具对刀、单边仪器对刀和双边仪器对刀。所用到的仪器主要有机械式寻边器、光电式寻边器和 Z 轴设定器，如图 3-31 所示。

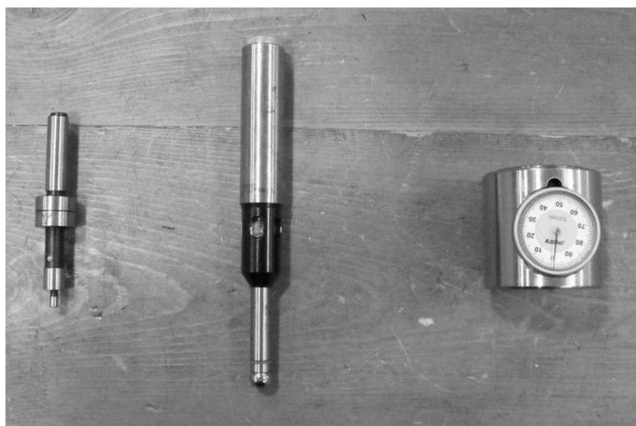


图 3-31　对刀仪器

机械式寻边器又称为“分中棒”，如图 3-31 左所示，其工作原理是：将机械式寻边器安装在主轴上，主轴以 500r/min 速度旋转，然后移动工作台和主轴，使寻边器靠近工件上需要测量的部位，轻微进给趋近工件，当旋转的寻边器测头碰到工件时，寻边器测头会产生偏心，根据偏心情况和此时的各轴坐标值，即可判断和计算工件的位置和工件坐标系。

一般情况下，机械式寻边器的对刀精度可达到 0.01mm。机械式寻边器的最大缺点是测头接触到工件后不能迅速直观地显示，需要操作者用肉眼反复观察偏心情况。

光电式寻边器如图 3-31 中所示，其原理是：当寻边器上的测头接触到工件时，工件、机床本体、装夹装置导通形成回路，此时寻边器上的氖光灯点亮。光电式寻边器最大的优点是灵敏度高，寻边器只要碰触工件，电路接通，氖光灯就会点亮。还有一种光电鸣音式寻边器，工作原理与光电式一样，在氖光灯点亮的同时会发出鸣音，适合于加工深孔不便观察时使用。从应用情况来看，目前使用最普遍的就是光电式寻边器。光电式寻边器的对刀精度可达到 0.002mm。

一般情况下，光电式寻边器的对刀精度较机械式寻边器的对刀精度高，但是实际情况是：使用过一段时间后，特别是光电式寻边器的球心触头反复碰触后无法回位时，精度会慢慢降低，甚至不如机械式寻边器对刀精度高。

Z 轴设定器如图 3-31 右所示，它有光电式和指针式等类型，通过光电指示或指针判断刀具与对刀器是否接触，对刀精度一般可达 0.01mm。Z 轴设定器带有磁性表座，可以牢固

地吸附在工件或夹具上，其高度一般为 50mm 或 100mm。

机械式寻边器、光电式寻边器和 Z 轴设定器的最大优点是对刀时不损伤零件表面，在某些精加工或修模情况下尤其适合。

例 3-1：单边法和 Z 轴设定器对刀

操作步骤如下：

1）用游标卡尺测量出工件长度 *L*=91.48mm，计算出 *L*/2=45.74mm，如图 3-32 所示。

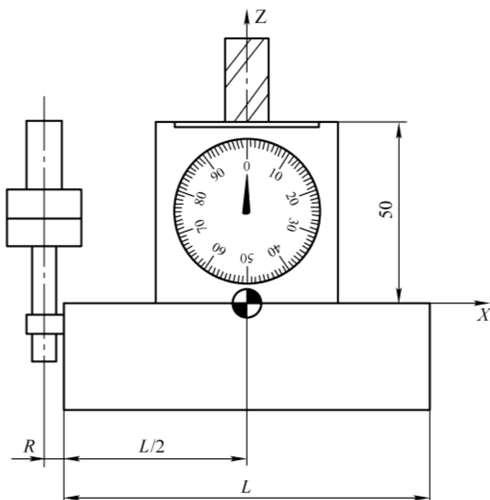


图 3-32 对刀示意图

2）将工件夹紧在平口钳上，换上寻边器，测得寻边器测头直径 *D*=10mm，则半径 *R*=5mm，*R*+*L*/2=50.74mm。

3）若是机械式寻边器，将主轴以 500r/min 速度正转，缓慢靠近工件左边，反复观察偏心情况，直到合适位置，如图 3-33 左图所示；若是光电式寻边器，则主轴不动，直接用寻边器的球心碰触工件左边，小心操作，直到氖光灯刚刚点亮，如图 3-33 右图所示。



图 3-33 机械式寻边器和光电式寻边器对刀

4）按下软键“测量工件”，按下“SELECT”键切换到 G54，按下光标键下移到半径，用“SELECT”键切换到“+”，在距离处输入 50.74，按下屏幕右侧软键“计算”即可，如图 3-34 所示。

5）Y 方向同理操作，注意切换屏幕右侧上方软键“Y”方向。

6）Z 方向设定：换上第一把刀（直径为 12mm 的平刀），将 Z 轴设定器置于工件表

面，用校正棒校正表盘，使指针指到“0”处，用手轮缓慢下刀，使刀尖轻轻碰触到 Z 轴设定器上表面的活动块，继续下移 Z 轴，使得指针指到“0”处，如图 3-35 所示。

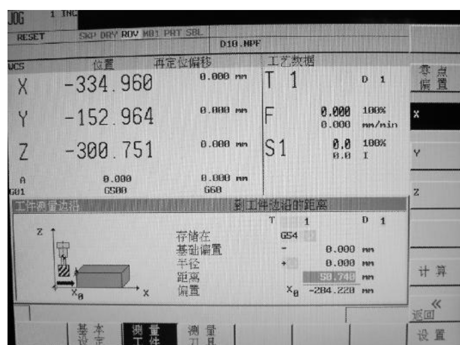


图 3-34　X 轴对刀设定



图 3-35　Z 轴设定器对刀

7）按下软键“测量工件”“Z”，切换到 G54，长度“–”，在距离处输入 50，按下“计算”即可，如图 3-36 所示。

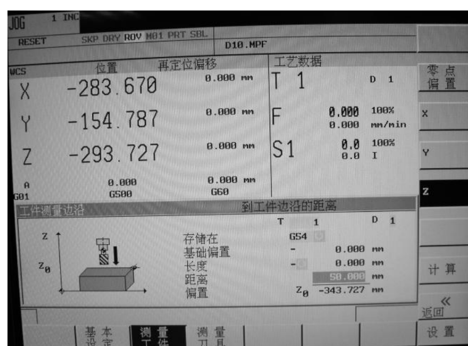


图 3-36　Z 轴设定器对刀设定

3.4.2　DNC 方式加工

SINUMERIK 802D 数控铣床自带的内存为 256KB。如果程序过大，超过机床内存，就必须外接存储器如 CF 卡或者采用 DNC 方式加工，也就是一边传送程序一边加工。采用 DNC 方式加工的操作步骤如下：

1）按下机床控制面板“AUTO”键，进入自动加工状态，按下屏幕下方软键“外部程序”。

2）计算机方发送所要加工的程序，具体步骤参见第 2 章相关内容。

3）按下机床控制面板“Single Block”键，打开“单段”，将“进给速度修调”旋钮旋到 10%以下，按下“Cycle Start”循环启动键，开始加工。首件试切时，一定要注意刀具切入工件瞬间的情况，发现异常应立即按下“Cycle Stop”循环停止键，然后用“Reset”键复位。在“jog”方式下，用手轮或机床控制面板的“+Z”键抬起 Z 轴，找出问题，重新设定 G54 或重新编程。若没有问题，可以再次按下“Single Block”键，取消“单段”，将“进给速度修调”旋钮旋到正常值 100%，按下“Cycle Start”循环启动键继续加工，如图 3-37 所示。

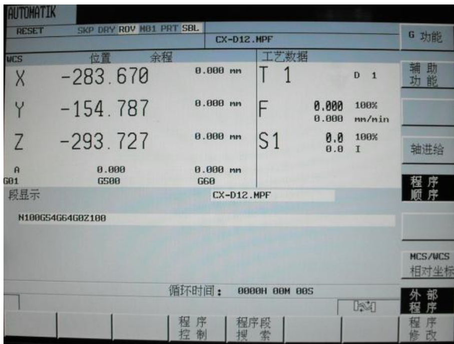


图 3-37　DNC 方式加工

3.4.3　常见问题及处理

1. **断刀**

加工过程中，经常会有一些异常情况出现，最常见的就是“断刀”。由于主轴转速或进给量选择不合理，或者工件、刀具材料的瑕疵，在选用直径较小的刀具加工时，最容易出现断刀现象。

出现断刀以后不必惊慌，先按下“Cycle Stop”，观察断刀时机床的加工情况。这里分为两种：第一种情况是断刀被及时发现，断刀时正在执行的语句就是实际加工执行的语句，这时可以记下该条语句，然后停机，抬起 Z 轴，重新换刀和对刀；第二种情况是断刀未被及时发现，等发现时已经执行了大段语句，这种情况就需要大致估计断刀时的坐标位置，等重新对刀后验证。

2. **通信中断**

在 SIEMENS 机床以外部程序（DNC）方式运行时，偶尔会出现通信中断的情况，表现为机床运行到某条语句后停止执行下面语句，主轴仍在转动，无进给运动。处理方法同断刀一样，记下该条语句，然后停机。

3. **中断后的处理**

在中途停机、断刀、通信中断等情况下，需要重新在断点开始加工，根据加工方式的不同，大致可以分为 3 种情况：

1）程序已经存放在机床内存，加工时由于测量或者中途休息等情况需要停机，采用程序段断点加工。

操作步骤如下：

① 程序按下“Reset”键复位后，系统能够自动保存断点坐标。在“jog”方式下用手轮或手动从轮廓退出刀具，抬起 Z 轴至安全高度，开始测量或者停机休息。

② 继续加工，按下“AUTO”，进入自动方式，按下屏幕下方软键“程序段搜索”，选择屏幕右边软键“搜索断点”，装入断点坐标，按下“计算轮廓”，启动断点搜索。

③ 按下“Cycle Start”键两次，启动从断点的继续加工。

2）程序已经存放在机床内存，加工时由于断刀未被及时发现，已运行多条程序，此时断点不再是“Reset”键复位后的断点。

操作步骤如下：

① 程序按下“Reset”键复位后，在“jog”方式下用手轮或手动从轮廓退出刀具，抬起 Z 轴至安全高度。

② 拆下断刀，换上新刀，重新对刀设定 G54 的 Z 值。

③ 按下“AUTO”，进入自动方式，按下屏幕下方软键“程序段搜索”，系统会让光标自动停在“Reset”键复位后的断点位置，用翻页键“Page Up”往前翻，找到断刀的大致位置，移动光标到该语句，按下“计算轮廓”，启动断点搜索。

④ 按下“Cycle Start”键两次，启动从断点的继续加工。若发现该点与断刀位置相差太多，重复步骤①和③。



注：

上述两种方法在程序重新启动时是由此时刀具所在的位置空间下刀到断点坐标，一定要注意防止空间下刀时碰到工件或平口钳等障碍物，造成撞刀。操作时一定要小心谨慎，将进给速度修调调慢，发现不对应及时按下“Cycle Stop”停止。

3）DNC 方式加工时，程序搜索失去作用，适用于中途停机、断刀、通信中断等多种情况。

操作步骤如下：

① 抄下断点处运行程序的整条语句，包括行号。

② 用记事本打开加工的 NC 文件，查找到该条语句。

③ 将光标移动到该条语句的上一条语句处，逐次向上查找离该条语句最近的 G、X、Y、Z、F、S 值并记下。

④ 若最近的 G 代码为 G1 或 G0，则该条语句有效；若为 G2 或 G3 代码，则继续向上查找 G 代码，直到最近的 G1 或 G0 为止，并设此处为新的断点，记下该处整条语句作为新的断点。

⑤ 删除 N106 至该断点上一条语句之间的所有语句，将断点语句写完整（包含 G、X、Y、Z、F 等代码），然后另存为其他文件。

⑥ 将该文件重新传送至机床并加工。

例 3-2：在精加工“JX-D6R3”的工序中，程序在 N2062 X-38.891 Y9.537 处中断

JX-D6R3.NC 文件部分代码如下：

```
%_N_JX-D6R3_MPF
;$PATH=/_N_MPF_DIR
N100 G71 G54 G64
N102 G17 G40 G90 G0 Z100
N104 X-39.963 Y8.773 S3000 M3
N106 Z-2.236 M8
N108 G1 Z-5.236 F200.
  ⋮
N2056 X-39.154 Y9.571 Z-3.996
```

```
N2058 X-39.049 Y9.618 Z-3.785
N2060 X-38.952 Y9.569 Z-3.786          //断点的上一条语句
N2062 X-38.891 Y9.537                  //断点
  ⋮
```

将光标移到断点的上一条语句，向上查找该语句的最近的 G，发现是 G1，然后查找 X、Y、Z、F、S 值，分别是 X-38.952、Y9.569、Z-3.786、F400、S3000，那么该条语句应该是 N2060 G1 X-38.952 Y9.569 Z-3.786 F400，删除 N106～N2060 所有语句，将 N104 X-39.963 Y8.773 S3000 M3 替换为 N104 X-38.952 Y9.569 S3000 M3，增加 N106 G1 Z-3.786 F400 M08，整个修改后的程序如下：

```
%_N_JX-D6R3_MPF
;$PATH=/_N_MPF_DIR
N100 G71 G54 G64
N102 G17 G40 G90 G0 Z100
N104 X-38.952 Y9.569 S3000 M3
N106 G1 Z-3.786 F400 M08
N2062 X-38.891 Y9.537
N2064 X-38.84 Y9.508
N2066 X-38.733 Y9.445 Z-3.787
  ⋮
```

有几点需要说明：

1）将查找起始点设在断点的上一条语句是因为不确定断点的语句是否执行完，在执行断点语句中途断刀的情况尤其如此。

2）避开 G2、G3 等圆弧指令，主要原因是不知道此时刀具确定的空间位置。SIEMENS 圆弧指令有多种格式，在并不确定此时到底用哪种指令格式时，最好避开，继续向上查找最近的 G1 或 G0，并设为新的断点，哪怕多走点刀具路径都无妨。

3）若断刀多时才发现机床已经走了许多空刀，这时需要大致估算断点语句的位置，修正程序并开机验证，验证后发现不对，应及时更新断点。

4）断点位置的 G、X、Y、Z、F、S 均是从断点上一条语句开始向上查找最近的 G、X、Y、Z、F、S 代码，这一点尤其需要强调。

5）新的 NC 文件代码的意思是：在 Z100 安全高度上快速定位到断点前一条语句的 X、Y 处，然后缓慢下刀，进给到 Z 值处，从断点开始执行后续语句。

6）机床开机运行时，必须打开“单步”，进给速度修调到“低”，缓慢下刀，加工一段时间确认无误后方可以取消“单步”，将进给速度调为“正常”。若出现异常情况，应及时停机，重新检查程序。



注：

记下断点处运行的程序整条语句（包括行号），是因为行号是重复使用的，超过 10000 就重新由 100 开始。

3.5　零件精度的分析与处理方法

在 Mastercam 自动编程中，通过合理选择刀具补正方法及设置相应的加工参数来控制零件尺寸的加工精度。一般有三种补正方法来保证精度。

1. **电脑补正**

电脑补正适用于除钻孔以外的全部加工类型，包括外形铣削、挖槽、曲面粗加工和精加工等。

假设某个 XY 方向尺寸要求为 $L_{XY}\pm\delta$，L_{XY} 为基本尺寸，$\pm\delta$ 为对称公差。在最后一道工序（精加工）之前，XY 方向留有余量 Δ_{XY}；同理，假设某个 Z 方向尺寸要求为 $L_Z\pm\delta$，L_Z 为基本尺寸，$\pm\delta$ 为对称公差，Z 方向留有余量 Δ_Z，Δ_{XY}、Δ_Z 均大于 0，则该尺寸在精加工前的理论值分别为 L_{XYT} 和 L_{ZT}。

情况 1：如果通过加工零件形状的外部轮廓得到该尺寸，则该尺寸 XY 方向理论值 $L_{XYT}=L_{XY}+2\Delta_{XY}$，Z 方向理论值为 $L_{ZT}=L_Z-\Delta_Z$。

假设测量值为 L_{XYP} 和 L_{ZP}，在此情况下，对应 XY 方向尺寸变化规律为从大到小，若 $L_{XYP}>L_{XYT}>L_{ZP}>L_{ZT}$，表明 XY 方向尺寸还没有加工到位，精加工时的余量就不再是 0 了，必须在 0 的基础上再深一点，Z 方向则正好相反，表明切削较深，必须浅一点，则精加工时的余量计算公式为

XY 方向余量：　$B_{XY}=-(L_{XYP}-L_{XYT})/2=(L_{XY}-L_{XYP})/2+\Delta_{XY}$

Z 方向余量：　$B_Z=L_{ZP}-L_{ZT}=L_{ZP}-L_Z+\Delta_Z$

可知此时 $B_{XY}<0$、$B_Z>0$。

若 $L_{XYP}<L_{XYT}$、$L_{ZP}<L_{ZT}$，表明该尺寸 XY 方向加工过量而 Z 方向深度不够，精加工时 XY 方向的余量 B_{XY} 就不再是 0 了，必须在 0 的基础上再浅一点，Z 方向则正好相反，表明切削较浅，还需要深一点，精加工的余量计算公式为

XY 方向余量：

$$B_{XY}=-(L_{XYP}-L_{XYT})/2=(L_{XY}-L_{XYP})/2+\Delta_{XY}$$

Z 方向余量：

$$B_Z=L_{ZP}-L_{ZT}=L_{ZP}-L_Z+\Delta_Z$$

同理，可知此时 $B_{XY}>0$、$B_Z<0$。

例 3-3：情况 1 的电脑补正

在本章的例子中，通过 ϕ12 平刀的加工，粗铣尺寸 80mm×60mm 的外形，XY 方向留

有 0.2mm 的余量，Z 方向也留有 0.2mm 的余量，深度为 18mm。执行完 CX-D12.NC 程序后，停机，测量尺寸 80mm 的实际值为 $L_{XYP}=80.46\,\text{mm}$，深度为 $L_{ZP}=17.84\,\text{mm}$。

计算可得

$$B_{XY}=(L_{XY}-L_{XYP})/2+\Delta_{XY}=(80-80.46)\text{mm}/2+0.2\text{mm}=-0.03\,\text{mm}$$

$$B_Z=L_{ZP}-L_Z+\Delta_Z=(17.84-18+0.2)\ \text{mm}=0.04\,\text{mm}$$

在 3.3 节零件的 CAM 刀具路径编辑的步骤 6)，用ϕ12 刀精加工时，此时 XY 方向余量不再是 0，而设定为–0.03，Z 方向余量也不再是 0，而设定为 0.04，重新计算后传入机床加工即可，如图 3−38 所示。

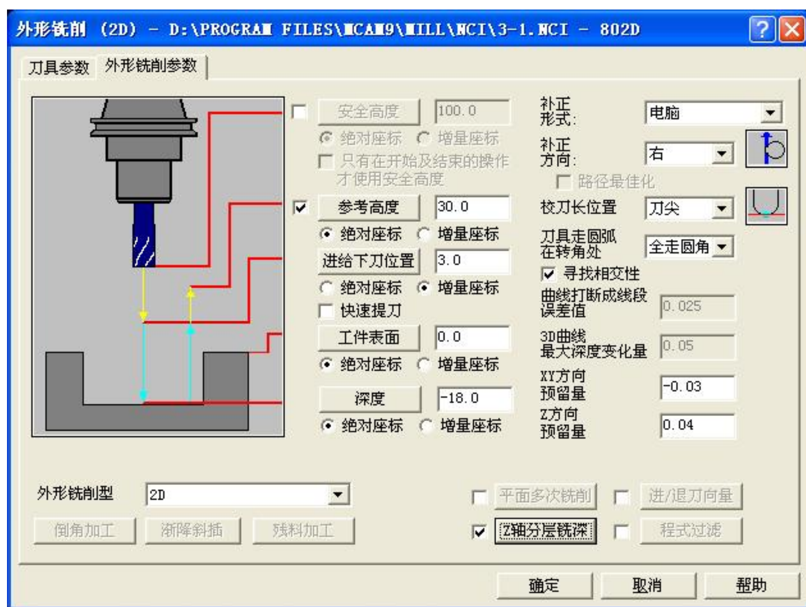


图 3−38 情况 1 的电脑补正精度控制

情况 2：如果通过加工零件形状的内轮廓得到该尺寸，则该尺寸 XY 方向理论值：$L_{XYT}=L_{XY}-2\Delta_{XY}$，假设测量值为 L_{XYP}。

在此情况下，XY 方向尺寸变化规律为从小到大，若 $L_{XYP}>L_{XYT}$，表明该尺寸 XY 方向加工过量，精加工时 XY 方向的余量 B_{XY} 就不再是 0 了，必须在 0 的基础上再浅一点。精加工的 XY 方向余量计算公式为

$$B_{XY}=(L_{XYP}-L_{XYT})/2=(L_{XYP}-L_{XY})/2+\Delta_{XY}$$

可知 $B_{XY}>0$。

若 $L_{XYP}<L_{XYT}$，表明该尺寸还没有加工到位，精加工时的余量就不再是 0 了，必须在 0 的基础上再深一点。精加工时的 XY 方向余量计算公式为

$$B_{XY}=(L_{XYP}-L_{XYT})/2=(L_{XYP}-L_{XY})/2+\Delta_{XY}$$

可知 $B_{XY}<0$。

Z 方向余量的计算不受情况 2 的影响，与情况 1 一致。

综合上述公式可得：

当 XY 方向尺寸变化规律为从大到小时：

$$B_{XY}=(L_{XY}-L_{XYP})/2+\Delta_{XY} \quad (3-1)$$

当 XY 方向尺寸变化规律为从小到大时：

$$B_{XY}=(L_{XYP}-L_{XY})/2+\Delta_{XY} \quad (3-2)$$

当 Z 方向尺寸变化规律为从小到大时：

$$B_Z=L_{ZP}-L_Z+\Delta_Z \quad (3-3)$$

上述式（3-1）和式（3-2）不太好记，必须提前判断 XY 方向尺寸变化规律。有一种简单的方法来便于理解，由于有加工余量 Δ_{XY} 的存在（$\Delta_{XY}>0$），XY 方向尺寸变化规律为从大到小时，$L_{XYP}>L_{XY}$；XY 方向尺寸变化规律为从小到大时，$L_{XYP}<L_{XY}$，计算 B_{XY} 前，先判断 L_{XYP} 和 L_{XY} 的大小，由此得出结论：

若 $L_{XYP}>L_{XY}$，则

$$B_{XY}=(L_{XY}-L_{XYP})/2+\Delta_{XY} \quad (3-4)$$

若 $L_{XYP}<L_{XY}$，则

$$B_{XY}=(L_{XYP}-L_{XY})/2+\Delta_{XY} \quad (3-5)$$

➘ 例 3-4：情况 2 的电脑补正

在本章例子中，通过 ϕ12 平刀的加工，以渐降斜插的方式粗铣 ϕ16 mm 的通孔，粗铣余量为 0.2mm，执行完 CX-D12.NC 程序后，停机，测量尺寸 16mm 的实际值为 $L_{XYP}=15.52$mm。$L_{XYP}<L_{XY}$，由式（3-5）得 XY 方向余量为

$$B_{XY}=(L_{XYP}-L_{XY})/2+\Delta_{XY}=(15.52-16)\text{ mm}/2+0.2\text{mm}=-0.04\text{mm}$$

在 3.3 节零件的 CAM 刀具路径编辑的步骤 7），此时 XY 方向余量不再是 0，而设定为 –0.04，重新计算后传入机床加工即可，如图 3-39 所示。

对于 3.3 节零件的 CAM 刀具路径编辑的步骤 12）的挖槽精修，方法同上。对于曲面粗加工和精加工，由于曲面加工的半精加工不便于测量，而最后一道工序“精加工”往往可实现很高的精度和表面质量，只能靠球刀的精确对刀来实现加工精度，一般可以控制在 0.01mm 左右。

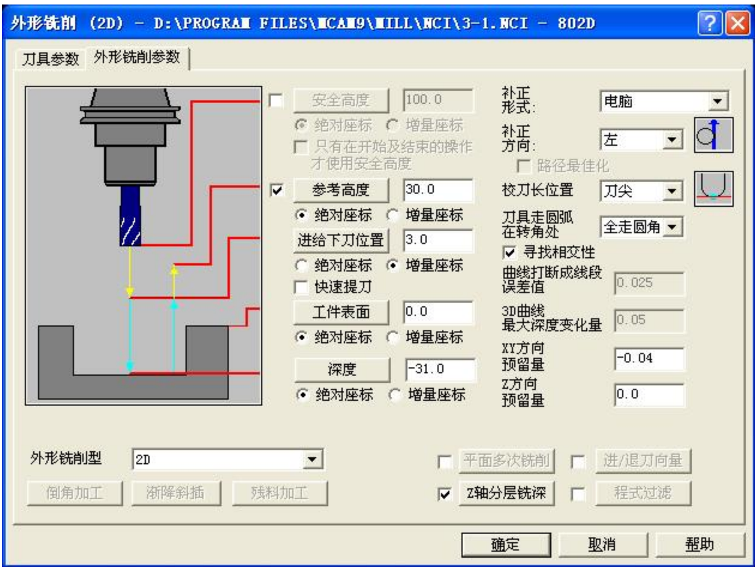


图 3-39　情况 2 的电脑补正精度控制

2. **控制器补正**

控制器补正方式仅适用于二维外形铣削，包括 2D 和渐降斜插方式。控制器补正方式与手工编程的 G41、G42、G43、G44 相同，通过调整刀具半径补偿和长度补偿来达到精度要求，一般多用于精加工工序。

➘ 例 3-5：控制器补正

在 3.3 节零件的 CAM 刀具路径编辑的步骤 6）中，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，补正方式：“电脑”，外形铣削参数如图 3-40 所示；以 802D.PST 作为后处理程序，文件名 06.NC，如图 3-41 左图所示；同理，将补正方式改为：“控制器”，其余参数不变，如图 3-42 所示；后处理程序文件名 06A.NC，如图 3-41 右图所示。

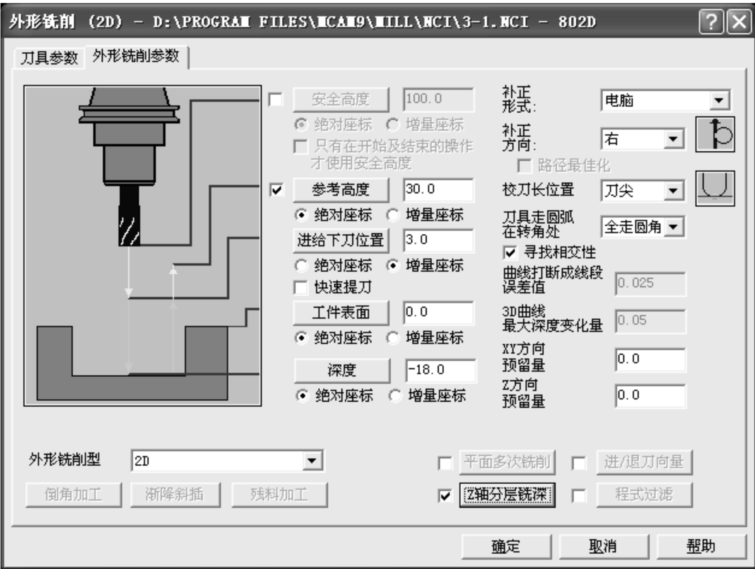


图 3-40　电脑补正

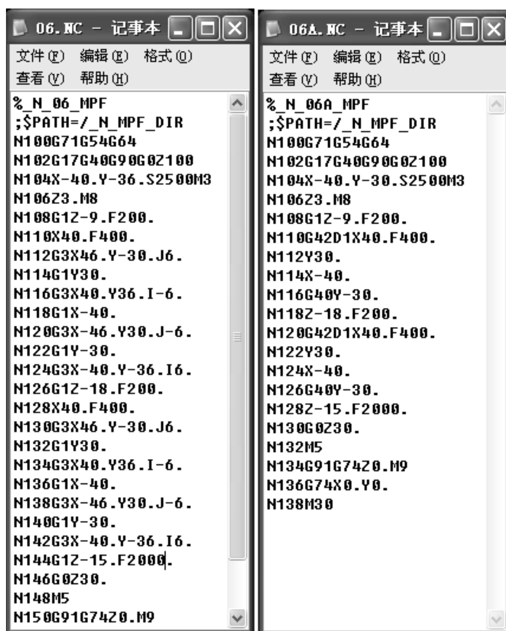


图 3-41 电脑补正和控制器补正的程序对比

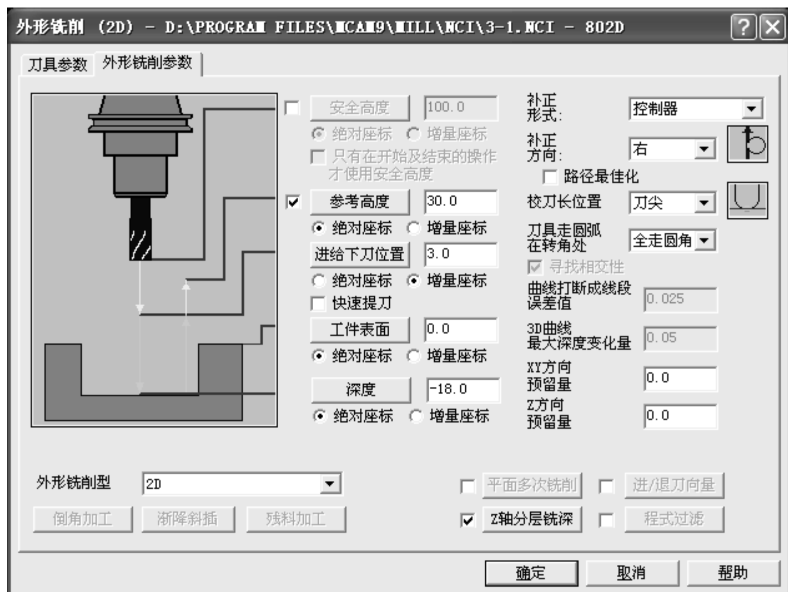


图 3-42 控制器补正

通过对比可以发现，采用“控制器”补正方式与手工编程方法一样，程序中会带有刀具补偿号 D1，通过在机床刀具补偿里面设置相应的数值来保证精度的要求。

值得一提的是，SINUMERIK 802D 的刀具长度补偿是通过 T×来实现的，刀具调用后，刀具长度补偿立即生效，不需要用到 G43 和 G44，如果没有编程 D 号，则 D1 自动生效。半径补偿则配合 G41/G42 来实现，而且一把刀最多有 9 个刀沿号，也就是说，可以匹配 9 个不同的半径补偿值和长度补偿值，这是 SINUMERIK 802D 的一大特色。举例如下：

例 3-6：SINUMERIK 802D 的刀具补偿号 D

```
N100 G17 G54 G64
N102 T1                    //第一把刀的长度补偿 D1 生效，默认调用第一号刀沿
N104 G0 G90 X-40. Y-30. S2500 M3
N106 Z30. M8
N108 Z3.
N110 G1 Z-9. F200.
N112 G42 D1 X40. F400 //第一把刀的半径补偿 D1 生效
N114 Y30.
N116 X-40.
N118 G40 Y-30.
N114 T1 D2                 //第一把刀的第 2 号刀沿值长度补偿生效
N116 X-40.
N118 G42 D2 X40. F400 //第一把刀的第 2 号刀沿值半径补偿生效
N114 T2 D2                 //第二把刀的第 2 号刀沿值长度补偿生效
N116 X-40.
N118 G42 D2 X40. F400 //第二把刀的第 2 号刀沿值半径补偿生效
  ⋮
```

由此可见，打开文件 06A.NC，需要在程序的第一句 N100 G71 G54 G64 后面加上 T1，来保证刀具长度补偿的调用不影响程序的加工。

例 3-7：采用控制器补正方式的精度控制

在机床的刀具补偿表里，第一次加工时，一般设定刀具半径补偿值设为

$$D_1 = D + \Delta_{XY}$$

其中，D 为刀具实际半径值，Δ_{XY} 为 XY 方向单边余量值。不难推算出公式：

若 $L_{XYP} > L_{XY}$，则

$$D_1' = D_1 + (L_{XY} - L_{XYP})/2 \tag{3-6}$$

若 $L_{XYP} < L_{XY}$，则

$$D_1' = D_1 + (L_{XYP} - L_{XY})/2 \tag{3-7}$$

$$H_1' = H_1 + (L_{ZP} - L_Z) \tag{3-8}$$

其中，D_1' 为修正后的半径补偿值，H_1 为第一次的长度补偿值，H_1' 为修正后的长度补偿值。

假设在 3.3 节零件的 CAM 刀具路径编辑的步骤 1）中，通过ϕ12 平刀的加工，粗铣尺

寸 80mm×60mm 的外形，采用控制器补正方式，XY 方向预留量和 Z 方向预留量均设为 0。在机床的刀具补偿表里，设定第一次半径 D_1=6.2mm，长度补偿值 H_1=0.2mm，加工完后测量尺寸 80mm 的实际值为 80.46mm，深度为 17.84mm，则

$$D_1' = D_1 + (L_{XY} - L_{XYP})/2 = [6.2 + (80 - 80.46)]\text{mm} = 5.97\,\text{mm}$$

$$H_1' = H_1 + (L_{ZP} - L_Z) = [0.2 + (17.84 - 18)]\text{mm} = 0.04\,\text{mm}$$

在 3.3 节零件的 CAM 刀具路径编辑的步骤 6）精铣加工时，采用控制器补正方式，XY 方向预留量和 Z 方向预留量均设为 0。在机床的刀具补偿表里，设定最后精铣的补偿值 D_1，半径为 5.97mm，长度为 0.04mm。



注：

3.3 零件的 CAM 刀路编辑的步骤 1）和 6）虽然都采用控制器补正方式，而且 XY 方向预留量和 Z 方向预留量均设为 0，但不能就认为两个程序是一样的。步骤 1）采用的是分层铣削，每层深度 0.8mm，而步骤 6）没有勾选“分层铣深”，因此，两个程序是不一样的，不能完全代替，这一点和手工编程不同。实际加工中，在批量生产时使用控制器补正方式。

控制器补正方式的优点是程序不用修改，只改动刀具补偿量，重走一遍程序即可获得零件精度。值得指出的是，无论是电脑补正还是控制器补正，式（3-3）～式（3-8）对于绝大多数需要双边加工的封闭尺寸均适用；对于部分开放式尺寸，比如半圆、开放式槽等，由于加工时只加工单边，L_{XYP} 和 L_{XY} 比较计算后就不必“/2”，其他思路和方法都是一样的。

3. 电脑和控制器两者同时补正或反向

电脑和控制器两者同时补正或反向也仅适用于二维外形铣削，它是控制器补正方式与电脑补正方式的综合。一方面，通过调整刀具半径补偿和长度补偿来达到精度要求；另一方面，也可以设定 XY 方向预留量和 Z 方向预留量来控制精度。

当 XY 方向预留量和 Z 方向预留量均设定为 0 时，实际上就是控制器补正方式；当半径补偿量设定为实际加工的刀具半径，长度补偿设定为 0 时，该方式实际上就是电脑补正方式。只有当 XY 方向预留量和 Z 方向预留量均不为 0，同时刀具的半径补偿量不为实际加工的刀具半径，长度补偿也不为 0 时，该方式是两种补正方式的叠加，实际加工中基本不采用。

由于刀具的补偿量和磨损量对所有的加工都是均匀的，实际加工中可以采用将零件的尺寸公差用电脑补正，加工余量由刀具补正的方法来加工。

4. 非对称偏差尺寸的精度控制

一般来说，零件的尺寸偏差大多是非对称的。假设某个尺寸要求为非对称偏差，即 $L_{\delta_2}^{\delta_1}$，L 为基本尺寸，δ_1、δ_2 分别为上、下偏差，$|\delta_1| \neq |\delta_2|$。

对于非对称尺寸偏差，用二维外形铣削时，X、Y 方向为关联尺寸，也就是说，加工的时候，X 和 Y 方向的切削量是一样的。在保证 X 方向尺寸公差的同时，并不能保证 Y 方向的尺寸公差，特别是如果 X 方向尺寸为 $L_0^{\delta_1}$、Y 方向的尺寸为 $L_{\delta_2}^0$ 时，此时 X 和 Y 方

向尺寸公差的交集只有基本尺寸 L，这在加工时几乎是无法实现的。

同理，在某些曲面加工中，有可能 X、Y、Z 三个方向均为关联尺寸，由于切削在整个空间方向上是均匀的。此时，要同时保证 3 个方向上的非对称偏差尺寸要求，显然是不可能甚至是相互矛盾的。

解决非对称偏差尺寸的唯一办法就是在 CAD 建模阶段，直接以尺寸 L 与公差带中心值之和为基本尺寸建模，让其公差变为正负对称偏差，然后以该基本尺寸编辑刀具路径，这样可以有效地保证尺寸精度。

假如尺寸要求为 $L_{\delta_2}^{\delta_1}$，其公差带中心值为 $(\delta_1+\delta_2)/2$，将基本尺寸改为 $L+(\delta_1+\delta_2)/2$，则上、下偏差分别为 $(\delta_1-\delta_2)/2$ 和 $-(\delta_1-\delta_2)/2$，尺寸可改写为 $[L+(\delta_1+\delta_2)/2]\pm(\delta_1-\delta_2)/2$。

例 3-8：非对称偏差尺寸的精度控制

以加工 80mm×60mm 的矩形为例，假设尺寸分别为 $80_{0}^{+0.06}$ mm 和 $60_{-0.05}^{0}$ mm。

操作步骤如下：

1）将尺寸 $80_{0}^{+0.06}$ mm 和 $60_{-0.05}^{0}$ mm 化为对称偏差形式（80.03±0.03）mm 和（59.975±0.025）mm。

2）在建模阶段，直接以 80.03mm 和 59.975mm 为尺寸作矩形。

3）刀具路径编辑与 3.3 节相同。

4）精度控制可以用电脑补正，也可以用控制器补正，方法同例 3-3 和例 3-7。

对于某些非对称偏差，可以不按此例，而直接采用电脑补正或控制器补正。比如，加工 $\phi16_{0}^{+0.03}$ mm 孔时，就不必化为对称偏差，而直接补正就可以了，前提条件就是必须判断出该尺寸与其他尺寸之间是否关联，保证该尺寸的精度是否影响到其他尺寸的精度。如果没有，则可以不必化为对称偏差；如果有，必须化为对称偏差。

本 章 小 结

本章是一个典型的用 Mastercam 加工的例子，在 CAD 建模方面，介绍了包括二维轮廓建模、实体建模和曲面建模等方法；在 CAM 加工方面，介绍了二维外形铣削、挖槽加工、曲面粗加工和精加工等加工方式；在实际操作方面，介绍了 SINUMERIK 802D 数控铣床加工的一些技巧和常见问题的处理；最后则介绍了 Mastercam 常见的零件精度控制方法等。

本章应注意的几个问题:

1）在建模阶段，挖槽时图形边界要适当比原来大一些，主要是为了方便在外围垂直下刀。

2）开放式等高外形铣要注意进退刀量，避免垂直下刀。如果不能避免垂直下刀时，尽量采用螺旋式下刀或斜插式下刀，或者更换为键槽铣刀。

3）精铣半椭球面采用 3D 等距，而没有采用等高外形，主要是因为在采用等高外形时在浅平面会产生残料，可以通过实体切削验证看出。

4）采用直纹加工和曲面流线加工方式来加工斜面和圆角。

5）本例基本上都是自由公差，假设某个尺寸有较高的精度要求，在 CAD 建模前一定要仔细分析，区分出非对称偏差尺寸是否关联。如果是，则一定要化为对称偏差的基本尺寸来建模；或者在工艺上保证为独立加工尺寸，加工该尺寸的精度不会关联到其他尺寸。

第 4 章　经典实例三

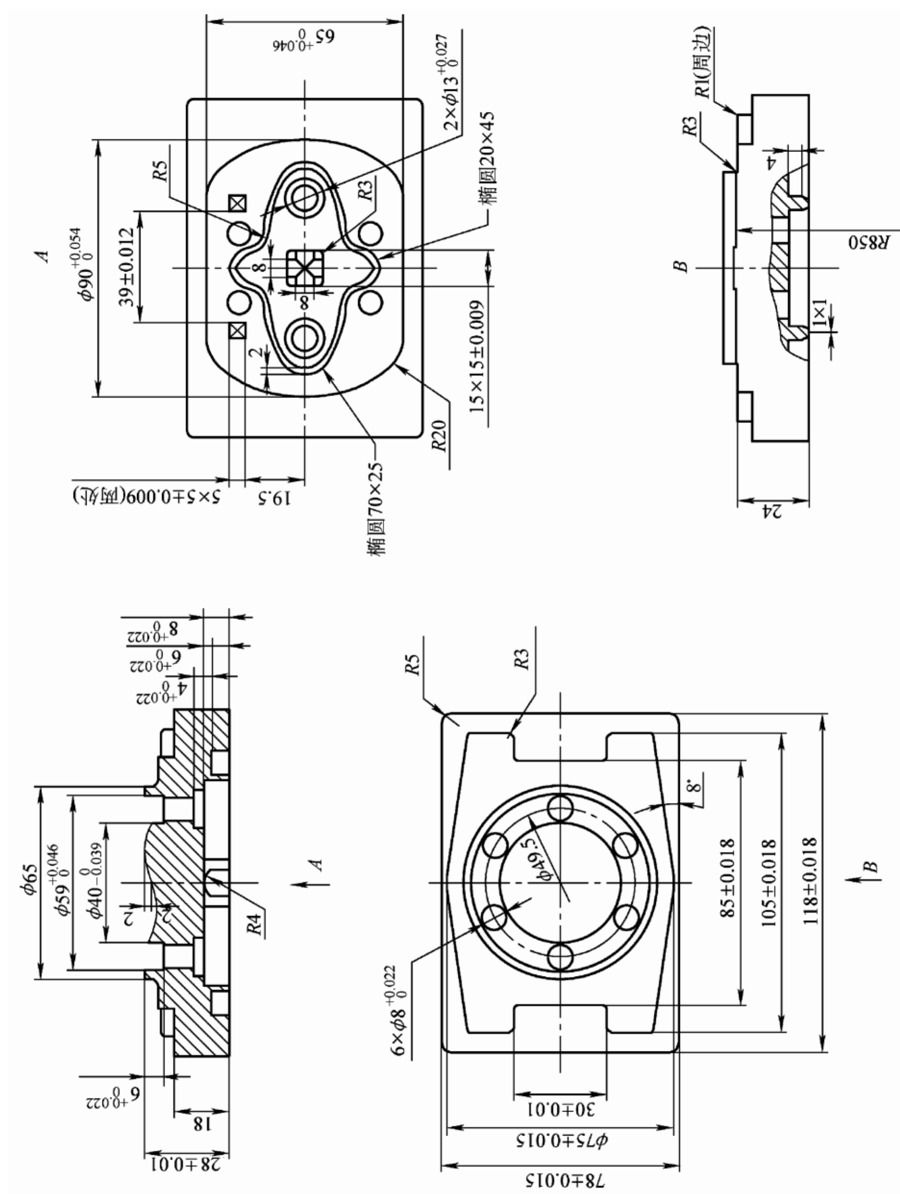


图 4-1　经典实例三

本例是加工中心技师考题，材料为铝，备料尺寸为 120mm×80mm×30mm。

技术要求：

1）椭圆长短轴尺寸公差为±0.03mm。

2）不准用砂布及锉刀等修饰表面。

3）未注公差尺寸按 GB/T 1840—m。

4）几何曲面和 CAD 模型的几何平均偏差为±0.05mm。

4.1 双面零件加工的工艺分析

读图 4-1 可知，零件正反双面均需加工，形状有二维轮廓、球面、圆柱面等结构，部分尺寸有公差要求。

刀具的选择要综合考虑各种情况来定，一般选择大刀粗加工，小刀精加工，刀具的半径一般小于曲面的曲率或圆角的半径，或者略小于最窄通过尺寸。本例的特点是：综合考虑正面加工和反面加工的刀具需求，尽量做到统一，以方便对刀和换刀。从工艺角度考虑，先加工反面，反面加工完后卸下工件，再加工正面，注意对刀的高度，防止过切。

分析有公差要求的尺寸可知，部分尺寸公差需要通过工艺来保证精度。

综合考虑，本例加工采用ϕ16、ϕ6 的 4 刃立铣刀，ϕ6R3 球刀和ϕ7.5 麻花钻头。反面加工和正面加工各工序加工内容及切削参数见表 4-1 和表 4-2。

表 4-1 反面加工各工序刀具及切削参数

序 号	加 工 部 位	刀 具	主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	二维轮廓的面铣和外形铣	ϕ16 立铣刀	2000	粗：800，精：400
2	钻孔 6×ϕ7.5	ϕ7.5 麻花钻头	1200	100
3	曲面挖槽、二维轮廓的半精加工	ϕ6 立铣刀	2500	粗：800，半精：600
4	二维轮廓和曲面的精加工	ϕ6 立铣刀 ϕ6R3 球刀	3000	400

表 4-2 正面加工各工序刀具及切削参数

序 号	加 工 部 位	刀 具	主轴转速/（r/min）	进给速度/（mm/min）
1	二维轮廓的面铣和外形铣	ϕ16 立铣刀	2000	粗：800，精：400
2	曲面挖槽、二维轮廓的半精加工	ϕ6 立铣刀	2500	粗：800，半精：600
3	二维轮廓和曲面的精加工	ϕ6 立铣刀 ϕ6R3 球刀	3000	400

4.2 反面 CAD 建模

操作步骤如下：

1）绘出 118mm×78mm 矩形，在“选项”菜单里，角落倒圆角勾选“开”，设定半径：5.0，以原点为抓点方式；绘出 15mm×15mm 矩形，角落倒圆角勾选“开”，设定半径：3.0，以原点为抓点方式。

2）以ϕ90 为直径作圆，圆心点：原点，在“修整”菜单里，单击“打断”，将该圆以原点、XY 轴为对称中心打为 4 段。

3）以 X−100 Y32.5 和 X−100 Y−32.5 作两条水平线分别与该圆相交。

4）圆角 R20 四处。

5）作椭圆 70mm×25mm、45mm×20mm，以同样方式将两个椭圆分别以原点、XY 轴为对称中心打为 4 段。

6）圆角 *R*5 四处。

7）在“转换”菜单里，单击“串联补正”，选择刚才的椭圆图形，以“复制”方式，点选补正方向：左，距离：2.0，如图 4−2 左图所示，单击屏幕上方工具条清除颜色。

8）作圆ϕ8，圆心 X24.75 Y0，在“转换”菜单里，单击“旋转”，以原点为旋转中心，点选“复制”方式，次数：5，旋转角度：60.0，如图 4−2 右图所示。

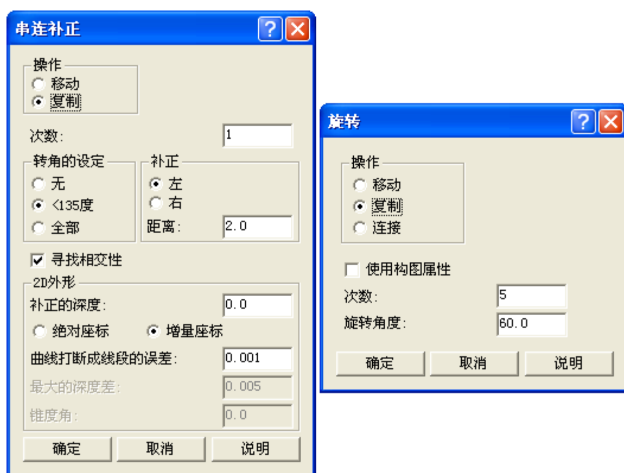


图 4−2　串联补正参数和旋转参数

9）作矩形 5mm×5mm 两处，作ϕ13 圆两处。

10）将萤幕视图切换到“前视图”，绘出 16mm×8mm 矩形，在“选项”里，选择“键槽形”，旋转“开”，角度：90.0，如图 4−3 所示。

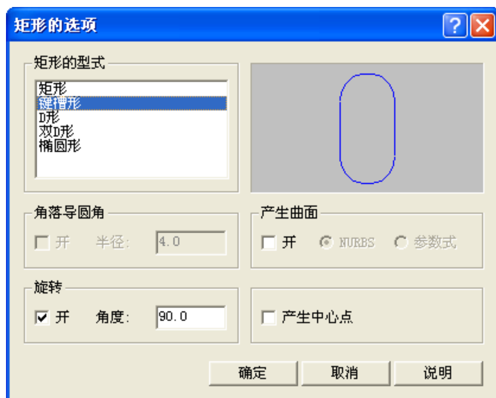


图 4−3　矩形参数设定

11）将萤幕视图切换到“侧视图”，依步骤 10）绘出 16mm×8mm 矩形。整个二维轮廓如图 4−4 所示。

12）将刚才二维图形默认放在第 1 层，设定名称“line”，新建层：2，设定名称“solid”，颜色为“9”（蓝色），将第 2 层设为当前层。

13）单击“实体”“挤出”，选择 118mm×78mm 矩形，方向“下”，距离：18.0；单击“实体”“挤出”，选择由步骤 2）、3）、4）产生的图形，方向“下”，距离：6.0，点选“切割主体”。

14）单击“实体”“挤出”，选择 6×ϕ8 的圆，方向“下”，点选“切割主体”“全部贯穿”；选择 2×ϕ13 的圆，方向“下”，距离：12.0，点选“切割主体”。

15）单击“实体挤出”，选择由步骤 7）产生的图形串联，方向“下”，距离：8，点选“增加凸缘”。

16）在“转换”菜单里，单击“平移”，选择步骤 5）、6）产生的图形，以复制的方式平移到 Z10 处；单击“实体”“挤出”，选择复制到 Z10 处的图形，方向“下”，距离：18.0，点选“切割主体”。

17）单击“实体”“挤出”，选择 15mm×15mm 矩形，方向“下”，距离：10.0，点选“增加凸缘”。

18）单击“实体”“挤出”，依次选择步骤 10）、11）产生的图形，方向“下”，距离：10.0，点选“两边同时延伸”，点选“切割主体”。

19）单击“实体”“挤出”，选择 5mm×5mm 矩形两处，方向“下”，距离：10.0，点选“增加凸缘”；选择 5mm×5mm 矩形上表面，倒角 2mm×2mm 两处。

20）新建层：3，设定名称“surface”，颜色为“8”（灰色），将第 3 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“由实体产生”，选择刚才所建的实体，产生曲面，并关闭第 2 层，最终建模效果如图 4-5 所示。

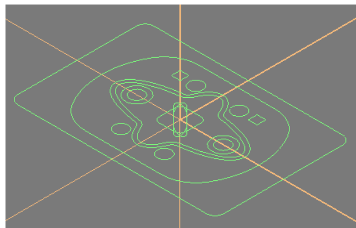


图 4-4　二维轮廓

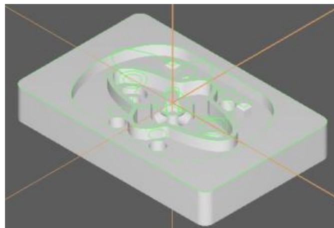


图 4-5　反面 CAD 建模



注：

直接以步骤 6）的图形进行实体挤出会产生报错信息，可以采用步骤 16）的方法，先将图形平移到高度 10mm 的方向上，再进行实体挤出，就可以消除该现象。

4.3　反面刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）选择“面铣”，从刀库中选择直径为 16mm 的平刀，加工 118mm×78mm 矩形上表面。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800.0、下刀速率：400.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2000，冷却液：喷油。在“面铣加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：1.0，深度：0.0，勾选“Z 轴分层铣深”，在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入精修次数：1、精修量：0.2，勾选“不提刀”，其余默认，如

图 4-6、图 4-7 所示。

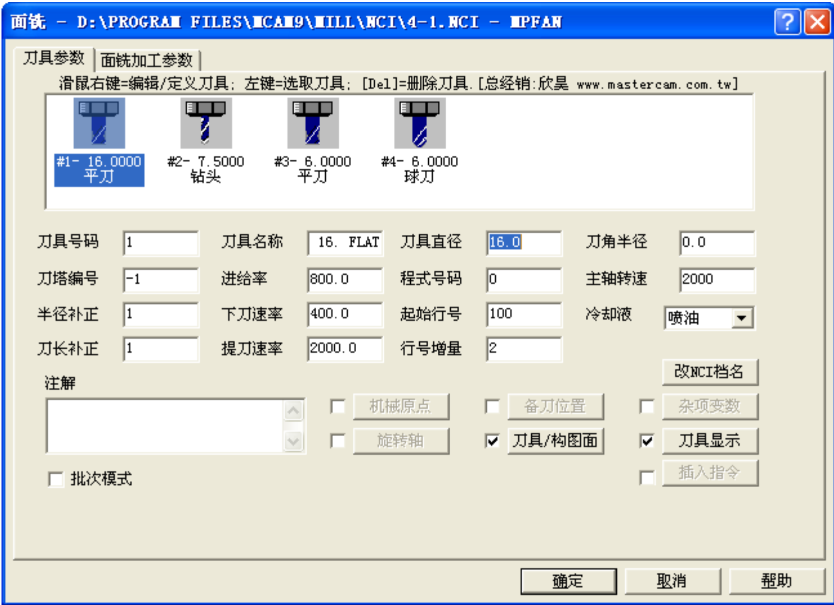


图 4-6　面铣刀具参数



图 4-7　面铣加工参数

2）选择“外形铣削（2D）”，加工 118mm×78mm 矩形外形。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1），工件表面：0.0，深度：−19.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“Z 轴分层铣深”，勾选“进/退刀向量”，参数默认。在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：1.0，勾选“不提刀”，其余默认，如图 4-8 所示。

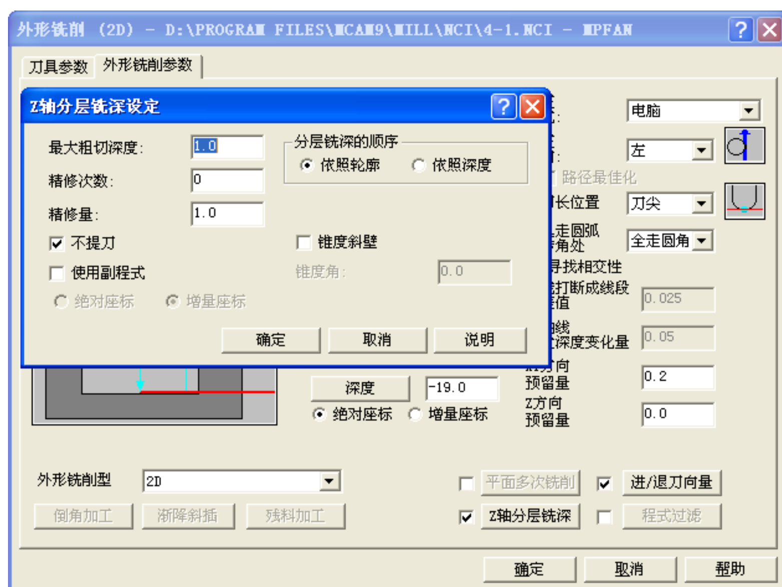


图 4-8　外形铣削参数

3）从刀库中选择ϕ7 钻头，单击鼠标右键，弹出“定义刀具”对话框，将其直径改为 7.5，其余默认退出。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：100.0、主轴转速：1200，冷却液：喷油，如图 4-9 所示。图形选择 6×ϕ8 孔，选择“深孔啄钻-完整回缩”选项卡，输入工件表面：0.0、深度：−30.0，勾选“刀尖补偿”，其余参数默认，如图 4-10 所示。

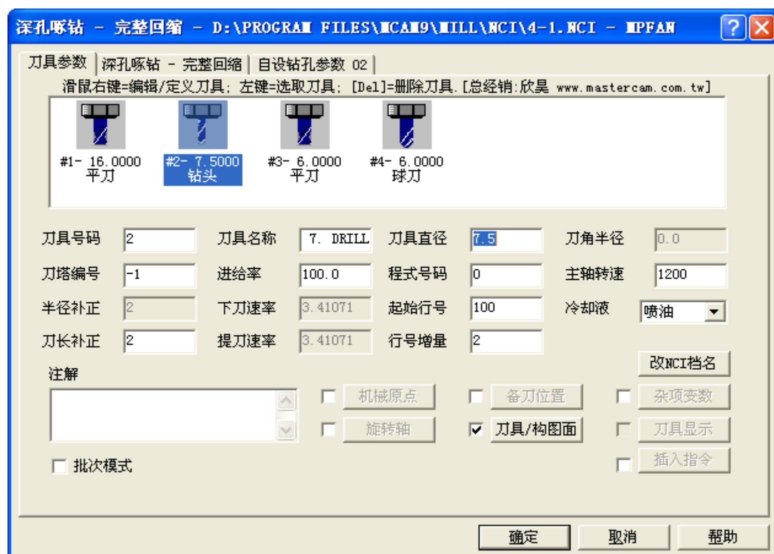


图 4-9　钻孔刀具参数

4）选择“曲面粗加工-挖槽”，从刀库中选择直径为 6mm 的平刀，在“刀具参数”选项卡中，除将主轴转速改为 2500，其余同步骤 1）。在“曲面加工参数”选项卡中，参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1），图形选择所有的曲面，切削范围选择ϕ90mm×65mm 的

腰圆图形，设定加工的曲面/实体预留量：0.4，刀具的切削范围点选“中”，如图 4-11 所示；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.4，勾选“斜插式下刀”，如图 4-12 所示；单击“斜插式下刀”按钮，输入 Z 方向开始斜插位置（增量）：0.2，XY 方向预留间隙：1.0，进刀角度：3.0，退刀角度：3.0，如果斜线下刀失败点选“中断程式”，勾选“储存未加工区域的边界”，进刀采用的速率点选“下刀速率”，如图 4-13 所示；单击“曲面加工参数”选项卡中的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：−0.5、最低位置：−8.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，如图 4-14 所示；在“挖槽参数”选项卡中选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75.0，其余默认，如图 4-15 所示。

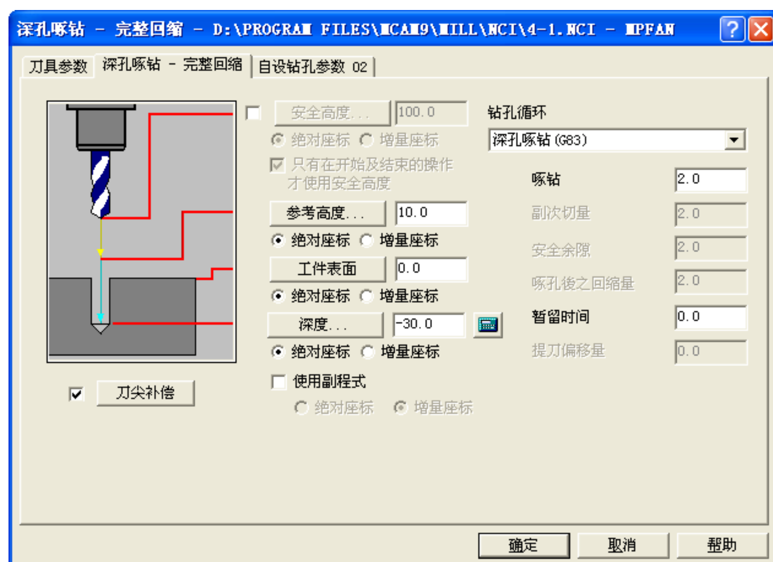


图 4-10　钻孔参数

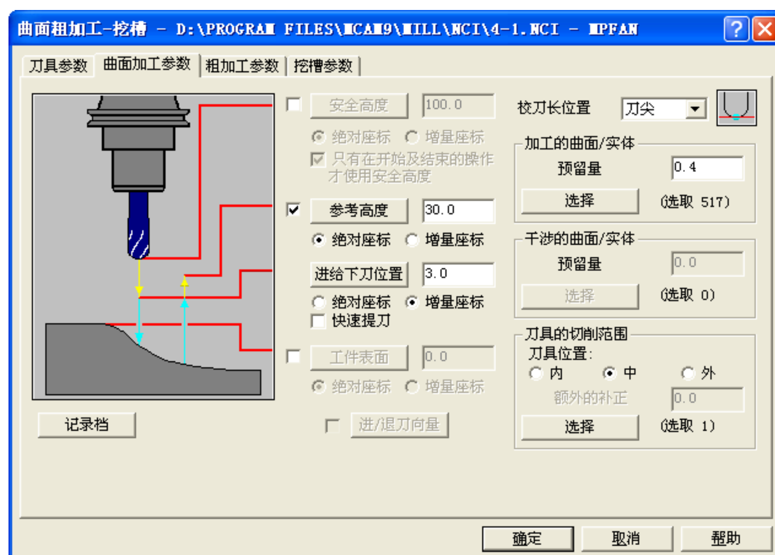


图 4-11　曲面加工参数

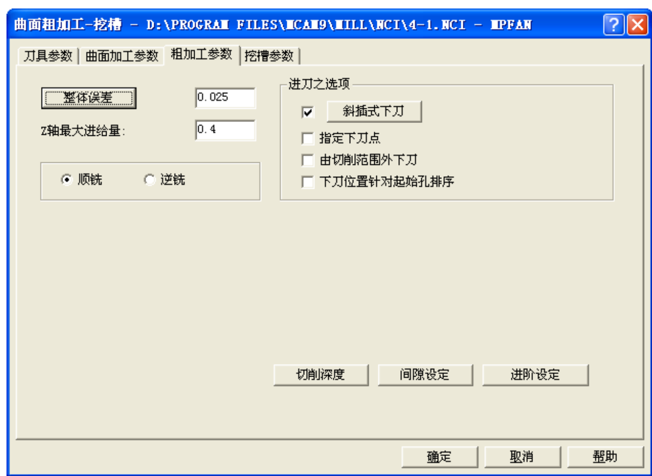


图 4-12　粗加工参数

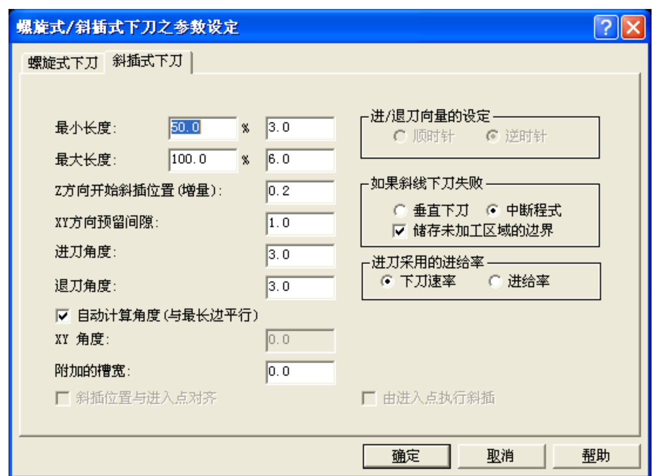


图 4-13　斜插式下刀参数

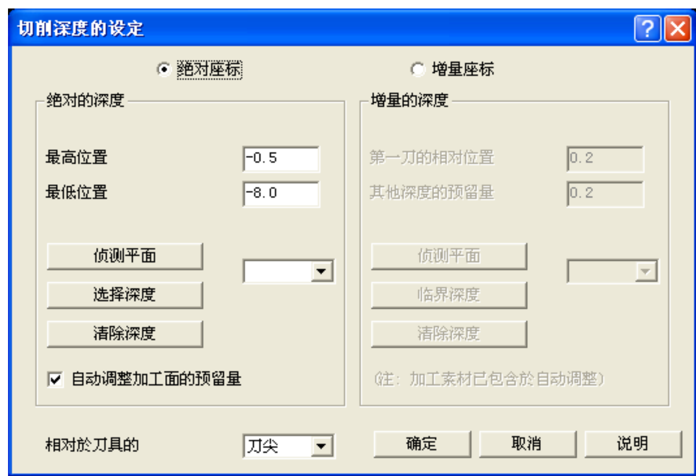


图 4-14　切削深度的设定



图 4-15　步骤 4）挖槽参数

5）选择“挖槽”，继续选择直径为 6mm 的平刀，图形选择如图 4-16 左图所示。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400.0、下刀速率：200.0、提刀速率：2000.0、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“挖槽参数”选项卡中，参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1)，工件表面：−5.5，深度：−6.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，不勾选“分层铣深”；在“粗切/精修 参数”选项卡中，勾选“斜插式下刀”和“刀具路径最佳化（避免插刀)”，斜插式下刀参数与步骤 4）相同，不勾选“精修”，其余默认。将步骤 1）～5）设定为群组 CX。

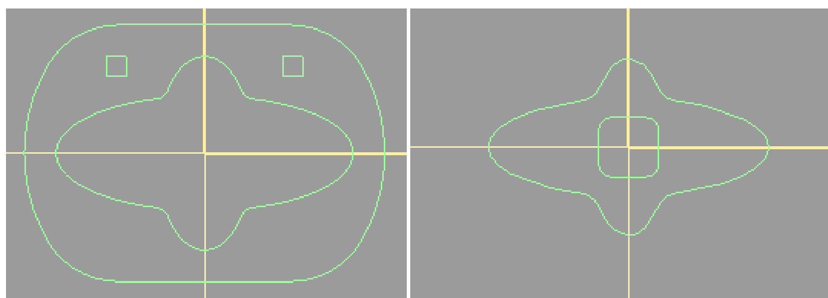


图 4-16　挖槽图形选择

6）复制步骤 5)，工件表面：−5.7，深度：−6.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：−0.011，保证深度尺寸 $6^{+0.022}_{0}$，其余默认。

7）继续选择“挖槽”，选择直径为 6mm 的平刀，图形选择图 4-16 右图所示。工件表面：−7.5，深度：−8.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：−0.011，以保证尺寸 $8^{+0.022}_{0}$，勾选“分层铣深”，设定精修次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，点选“依照深度”，如图 4-17 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中，勾选“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度执行一次精修”，覆盖进给率勾选“进给率”，设定为 400.0，其余所有

选项卡参数与步骤 5）相同，如图 4-18 所示。

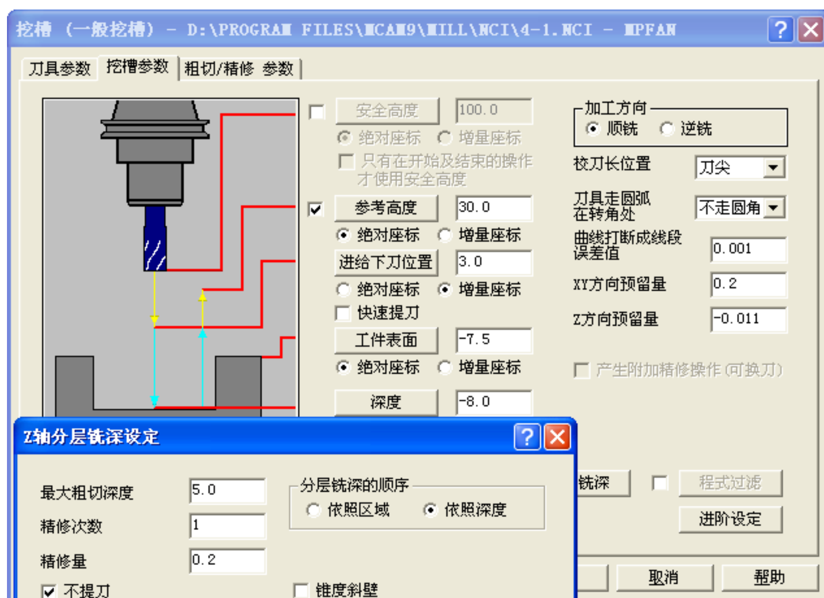


图 4-17　步骤 7）挖槽参数

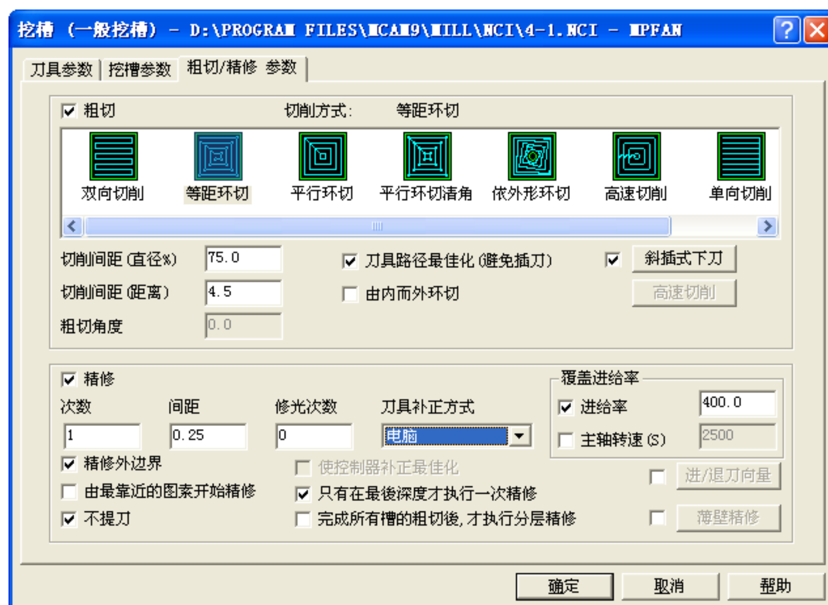


图 4-18　粗切/精修参数

8）选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，选择 $\phi 6$ 平刀，图形选择 2×$\phi 13$ 孔，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 5），工件表面：−7.7，深度：−12.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，不勾选“进/退刀向量”，在“外形铣削的渐降斜插”对话框中点选“深度”，设定斜插深度：0.3，勾选“在最终深度补平”，其余默认，如图 4-19 所示。将步骤 6）～8）设定为一个群组 BJX。

9）新建群组 JX，复制步骤 2），精铣 118mm×78mm 外形，在“刀具参数”选项卡中将进给率从 800.0 改为 400.0，下刀速率从 400.0 改为 200.0，其余参数同步骤 2）；在“外形铣削参数”选项卡中设定 XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，在 Z 轴分层设定里，设定最大粗切深度：10.0，勾选“不提刀”，其余参数均同步骤 2）。

10）选择“外形铣削（2D）”，选择ϕ6 平刀，图形选择ϕ90mm×65mm 矩形，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 8），工件表面：−6.0，深度：−6.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，XY 方向预留量：−0.012，以保证尺寸 $65_{0}^{+0.046}$、$\phi 90_{0}^{+0.054}$，Z 方向预留量：−0.011，勾选“进/退刀向量”，如图 4−20 所示。“进入”和“离开”的“直线”均点选“垂直”，直线长度设定为 60.0%，圆弧半径设定为 0.0%，其余默认，如图 4−21 所示。

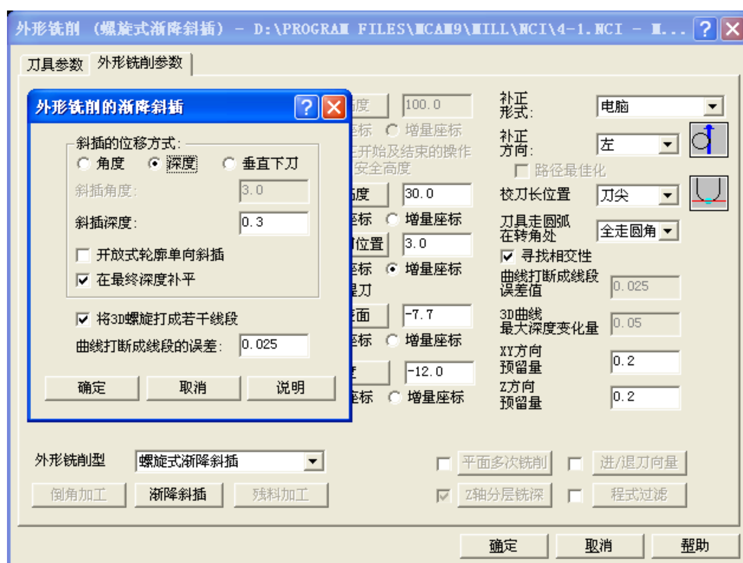


图 4−19　外形铣削（螺旋式渐降斜插）参数

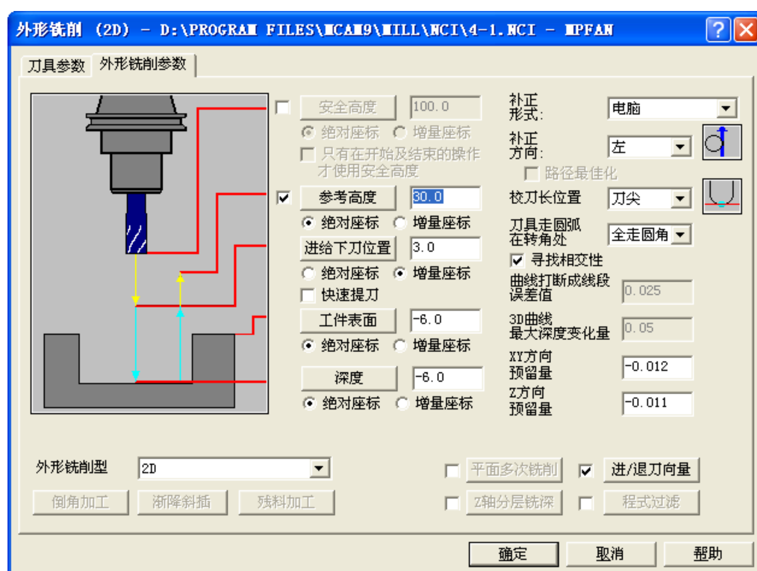


图 4−20　精铣内轮廓参数

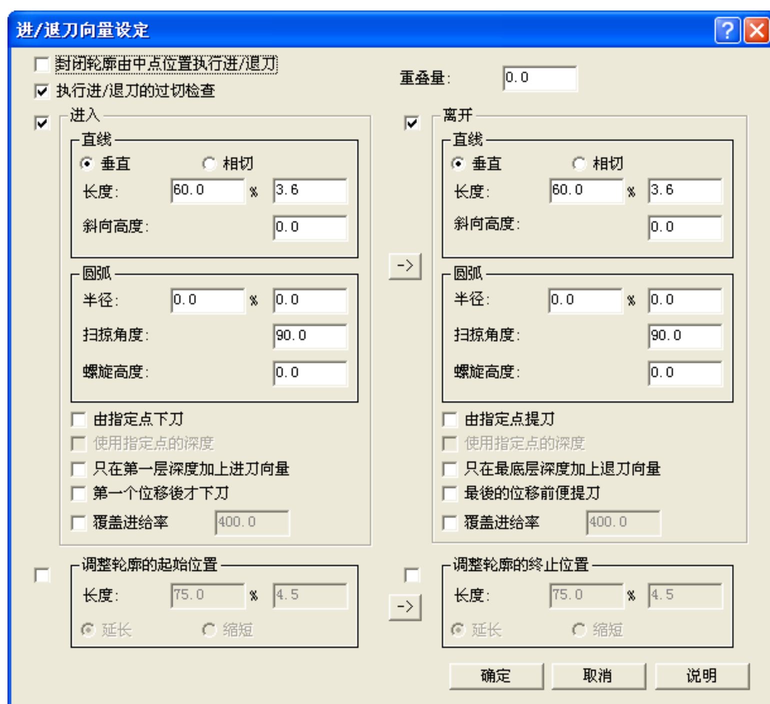


图 4-21　进/退刀向量参数

11）复制步骤 10)，图形选择椭圆 70mm×25mm 和 20mm×45mm 的外轮廓，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，设定 XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：−0.011，其余默认。

12）复制步骤 11)，图形选择 5mm×5mm 矩形一处，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，其余默认。

13）复制步骤 11)，图形选择 5mm×5mm 矩形另一处，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，其余默认。

14）复制步骤 11)，图形选择椭圆 70mm×25mm 和 20mm×45mm 的内轮廓，工件表面：−8.0，深度：−8.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：−0.011，其余默认。

15）复制步骤 14)，图形选择 15mm×15mm 矩形，工件表面：−8.0，深度：−8.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：−0.011，其余默认。


注：

步骤 2）和步骤 9）的深度均为−19mm，主要是为了保证尺寸 18mm，在翻转过来加工正面的时候就不必再进行 118mm×78mm 的外形轮廓铣削。步骤 10）～15）在刀具路径模拟时可能会产生下刀点过切现象，可以通过在图形的串联管理员中“更改起始点”来消除。

16）复制步骤 14)，图形选择 2×ϕ13，工件表面：−12.0，深度：−12.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：−0.007，以保证尺寸 $\phi13^{+0.027}_{0}$，Z 方向预留量：−0.011，以保证尺寸 $4^{+0.022}_{0}$，其余默认。

17）选择“外形铣削（2D）”，精修 $6\times\phi8$ 孔，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 8），在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：−8.0、深度：−30.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，XY 方向预留量：−0.005，以保证尺寸 $6\times\phi8^{+0.022}_{0}$，Z 方向预留量：0.0，勾选“Z 轴分层铣深”，在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：8.0，勾选“不提刀”，勾选“进/退刀向量”，“进入”和“离开”的“直线”均点选“垂直”，直线长度为：10%，圆弧半径为：0.0%，其余默认，如图 4−22 所示。

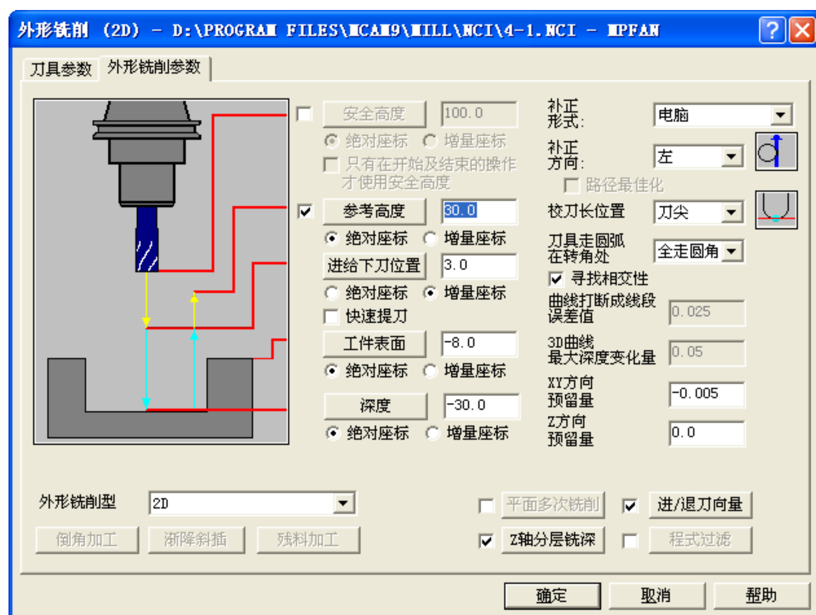


图 4−22　精修 $6\times\phi8$ 孔外形铣削参数

18）选择“曲面精加工－平行铣削”，图形选择 5mm×5mm 的立柱倒角后的 4 处斜面，刀具的切削范围选择 5mm×5mm 的矩形，刀具位置点选“外”，从刀库中选择半径为 3mm 的球刀，除将主轴转速设定为 3000，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 9）；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0.0；在“平行铣削精加工参数”选项卡中，切削方式选择“双向切削”，最大切削间距：0.1，加工角度：45.0，如图 4−23 所示。

19）复制步骤 18），图形选择另一处 5mm×5mm 的立柱倒角后的 4 处斜面，其余所有参数同步骤 18）。

20）选择“曲面精加工－等高外形”，继续选择半径为 3mm 的球刀，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 18）；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留量：0.0；加工面的选取如图 4−24 左图所示，干涉面的选取如图 4−24 中图所示；在“等高外形精加工参数”选项卡中设定 Z 轴最大进给量：0.2，其余默认，如图 4−25 所示。

21）选择“曲面精加工−浅平面加工”，继续选择半径为 3mm 的球刀，刀具参数、曲面加工参数同步骤 18），加工面的选取如图 4−24 右图所示，不选取干涉面；在“浅平面精加工参数”选项卡中选择切削方式“双向切削”，加工角度：90.0，最大切削间距：0.2，其余参数默认，如图 4−26 所示。

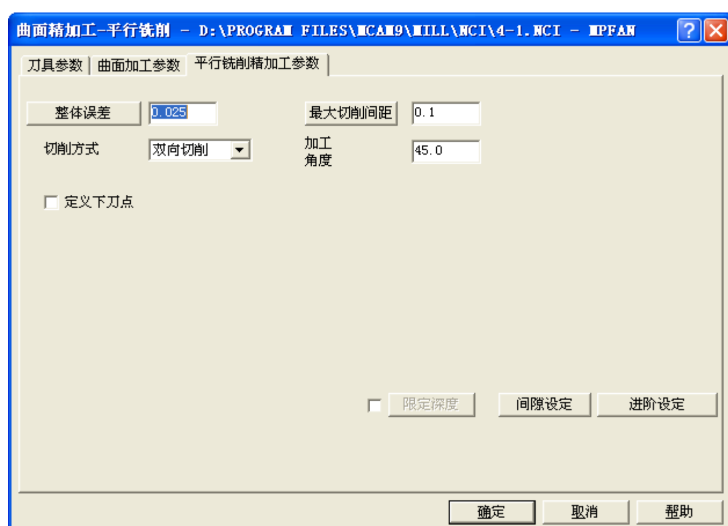


图 4-23　平行铣削精加工参数



图 4-24　加工面与干涉面

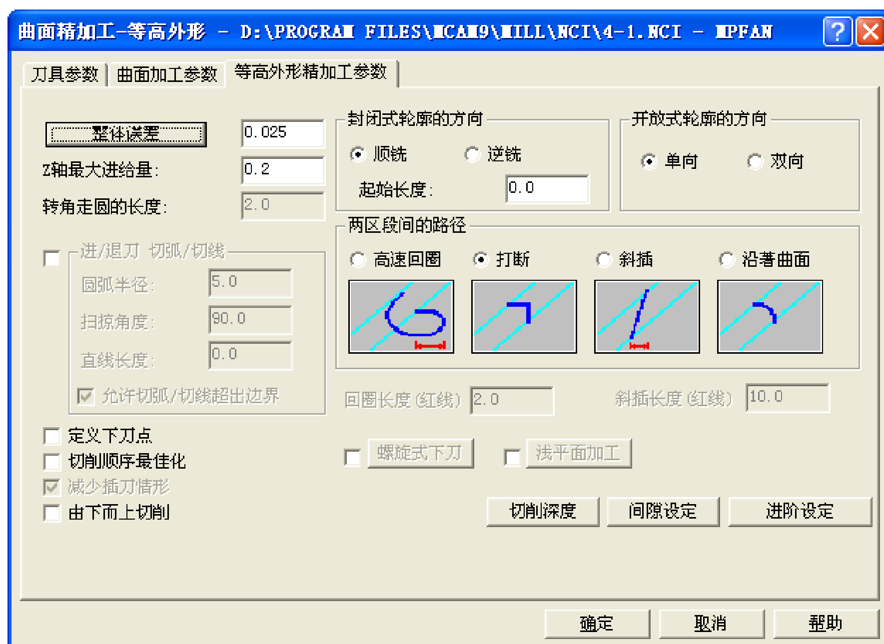


图 4-25　等高外形精加工参数

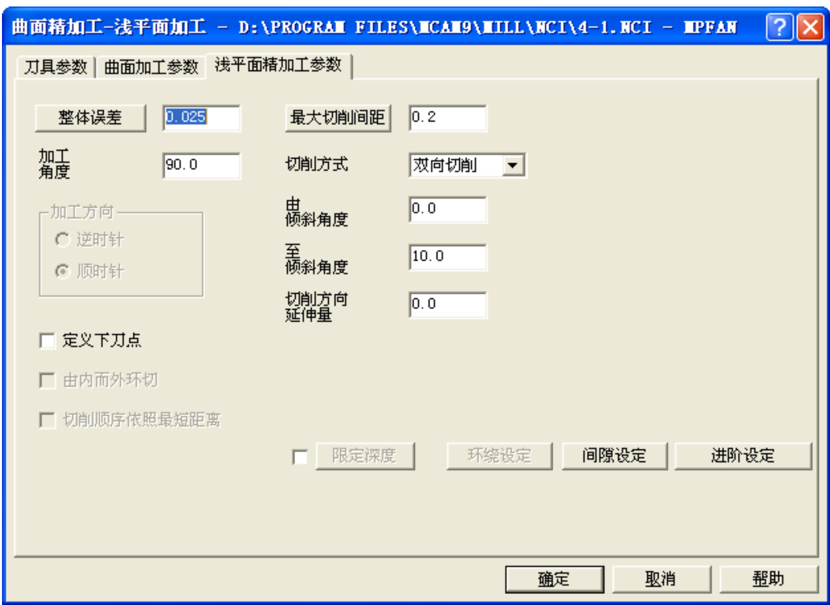


图 4-26　浅平面精加工参数

22）在“操作管理员”对话框的空白处单击鼠标右键，选择“刀具路径”“路径转换”，在“型式及方法”选项卡中点选“旋转”，勾选步骤 16）“曲面精加工-浅平面加工”，如图 4-27 所示；在“旋转”选项卡中点选“原点”，次数：1，起始角度：90.0，如图 4-28 所示。

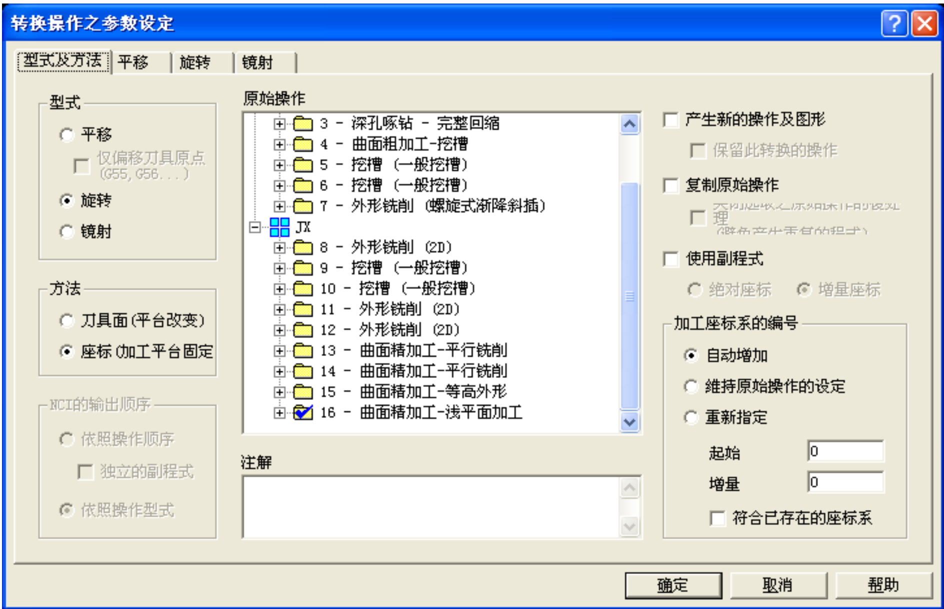


图 4-27　转换操作的型式及方法参数

工作设定如图 4-29 所示，设定毛坯 X120.0 Y80.0 Z30.0，工件原点 X0.0 Y0.0 Z1.0，勾选“显示素材”，进给率的计算点选“依照刀具”。实体切削验证如图 4-30 所示。将文档保存为“4-1A.MC9”。单击“操作管理员”对话框的“执行后处理”，选择全部群组，选择

后处理程序 MPFAN.PST，将 CX 设为一个群组，BJX 和 JX 设为一个群组，执行后程序文件为“4-1ACX.NC”和“4-1AJX.NC”。

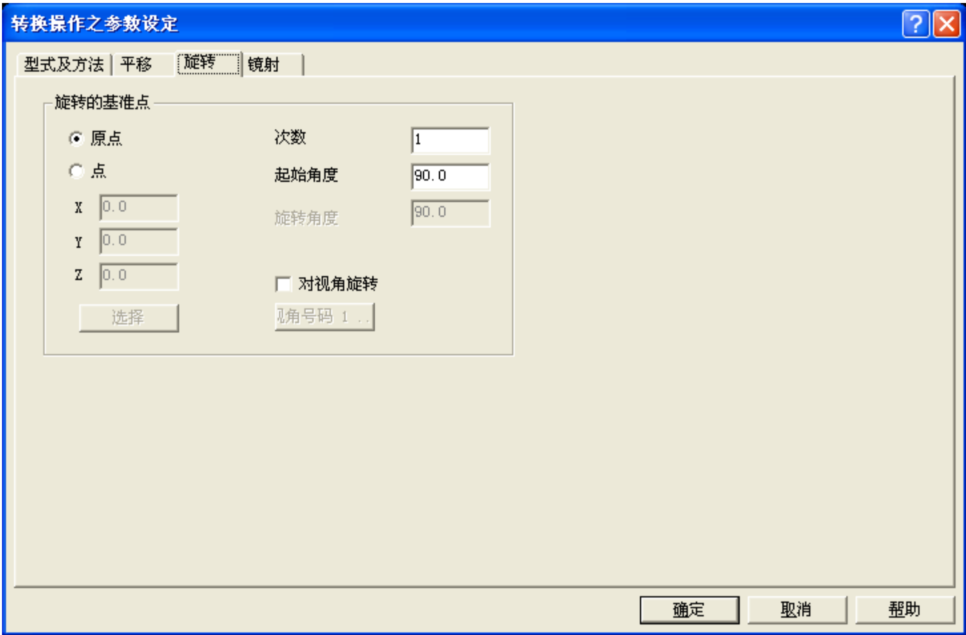


图 4-28　转换操作的旋转参数

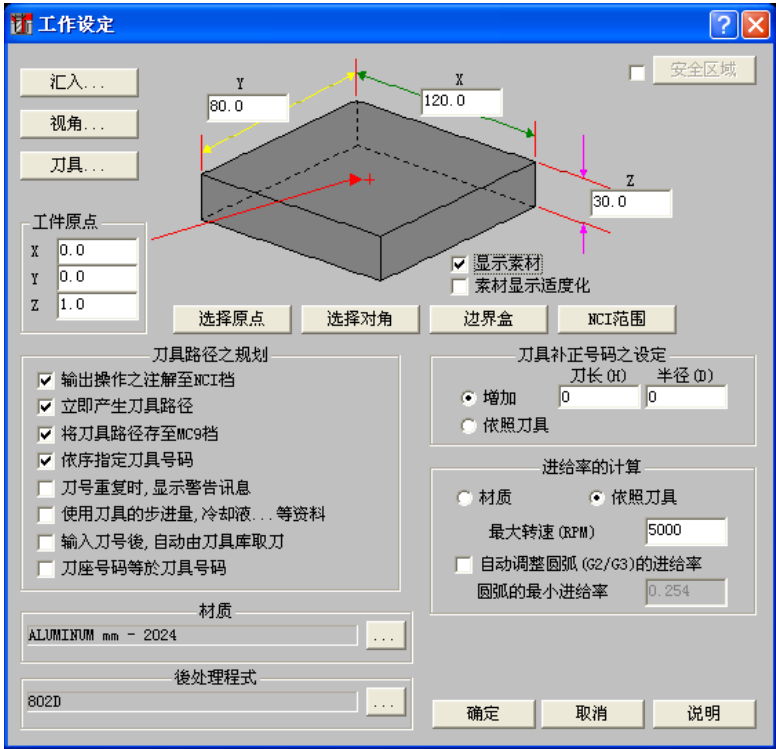


图 4-29　工作设定

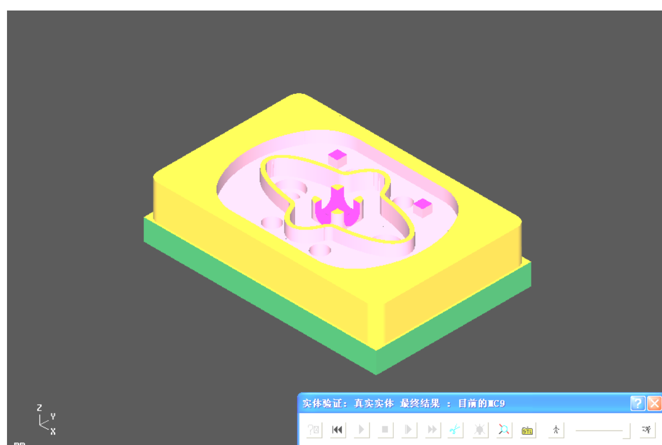


图 4-30　实体切削验证



注：

本例的特点是图样尺寸要求中既有对称偏差，也有非对称偏差，尺寸公差的保证主要通过加工工艺来实现，先在轮廓方向预留 0.2mm 余量，Z 向深度尺寸公差加工到位，然后采用外形轮廓铣，设定 XY 方向的预留量来保证尺寸公差的要求。虽然步骤有些繁琐，但是能够有效地保证尺寸精度。当然，也可以采用控制器补正方式，通过修正刀具补偿量来控制精度。

本例是首件试切的工艺过程，它与批量生产的工艺是不同的。通过测量和补偿预留量，批量生产的工艺可以大大简化。

4.4　正面 CAD 建模

操作步骤如下：

1）设定新的作图深度 Z-10，绘出 118mm×78mm 矩形，在“选项”里勾选“角落倒圆角：开”，设定半径：5，以原点为抓点方式。

2）以原点为圆心绘制ϕ75 圆，分别以 X52.5 Y50 和 X52.5 Y–50、X42.5 Y50 和 X42.5 Y–50、X0 Y15 和 X60 Y15、X0 Y–15 和 X60 Y–15 作直线。

3）以切线方式作直线，角度 8°，圆弧选择ϕ75 圆，长度 60。在转换菜单里，以 X 轴镜射方式复制该直线。

4）将以 X52.5 Y50 和 X52.5 Y–50 两点作的直线在中点处打为两段，将以 X42.5 Y50 和 X42.5 Y–50 两点作的直线在中点处打为两段，将ϕ75 圆以 4 等分打为 4 段。

5）以 *R*3 的圆角处理各处，并删除掉多余的半圆。

6）以 Y 轴镜射方式复制该串联，如图 4-31 左图所示。单击屏幕上方工具条清除颜色。

7）设定新的作图深度 Z0，以原点为圆心绘制ϕ65、ϕ59、ϕ40 的圆。

8）将萤幕视图切换到前视图，以 X–20 Y–2、X–10 Y–4、X0 Y–2 三点画弧，以 X0 Y–2、X10 Y0、X20 Y–2 三点画弧。以 X–20 Y–2、X–20 Y10 两点画线，以 X20 Y–2、X20 Y10 两点画线，连接 X–20 Y10、X20 Y10 两点，将萤幕切换到等角视图，如图 4-31 右图所示。

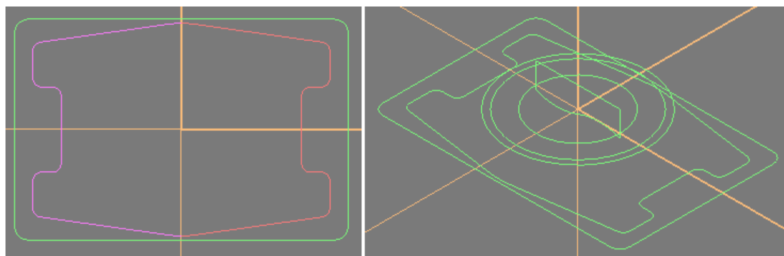


图 4−31　串联镜射与二维模型

9）将第 1 层设定名称“line”，新建第 2 层，设定名称“solid”，设定颜色“9”（蓝色）。

10）将萤幕视图切换到前视图，以半径 850、圆心 X0 Y−854 作圆。

11）将萤幕切换到等角视图，选择图 4−31 左边图形，实体挤出，方向：上，距离：10，点选“建立主体”；以 *R*850 圆实体挤出，勾选“两边同时延伸”，距离：50，点选“建立主体”。单击菜单“布尔运算”，选择刚才建立的两个实体，选择“交集”，单击“执行”。

12）选择ϕ65 圆，实体挤出，方向：下，距离：8，点选“增加凸缘”，去掉“两边同时延伸”。

13）选择ϕ59 圆，实体挤出，方向：下，距离：6，点选“切割主体”。

14）选择ϕ40 圆，实体挤出，方向：下，距离：8，点选“建立主体”；选择“波浪型”串联，勾选“两边同时延伸”，距离：30，点选“切割主体”，选择步骤 13）建立的实体，进行“切割主体”操作。

15）单击菜单“布尔运算”，选择刚才建立的两个实体，选择“结合”，单击“执行”。

16）实体边界倒圆角 *R*3，实体面倒圆角 *R*1。

17）新建第 3 层，设定名称“surface”，设定颜色“8”（灰色），单击菜单“绘图”“曲面”“下一页”“由实体产生”，生成曲面，并关闭第 2 层。

18）删除底部平面，单击“绘图”“曲面”“曲面修整”“平面修整”“串联”，以 2D 方式生成 118mm×78mm 矩形平面，最终效果如图 4−32 所示。

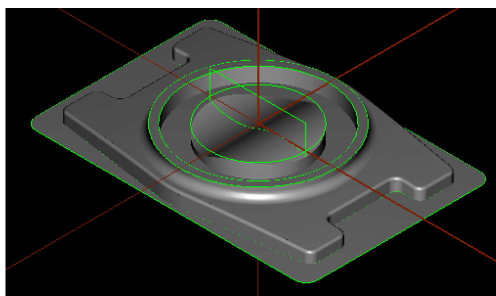


图 4−32　正面实体建模效果图

4.5　正面刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）选择“面铣”，从刀库中选择直径为 16mm 的平刀，加工 118mm×78mm 矩形上表

面。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2000，冷却液：喷油。在“面铣参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，工件表面：1.0，深度：0.0，Z 方向预留量：0.3，勾选“Z 轴分层铣深”，设定精修次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，其余默认。

2）复制步骤 1)，将进给率改为 400，下刀速率改为 200，工件表面：0.0，深度：0.0，不勾选“Z 轴分层铣深”，其余默认。

3）选择“外形铣削（2D）”，加工 118mm×78mm 矩形外形。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1)，工件表面：0.0，深度：−12.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，勾选“进/退刀向量”，勾选“封闭轮廓由中点执行进/退刀”，其余默认，如图 4−33 所示。将步骤 1）～3）设定为一个群组，名称为 D16。

4）选择“曲面粗加工−挖槽”，仍然选择直径为 16mm 的平刀，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 1)，图形选择所有的曲面，切削范围选择 118mm×78mm 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.4，刀具的切削范围中刀具位置点选“外”；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：1.0，勾选“由切削范围外下刀”，其余默认；单击曲面加工参数的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“增量坐标”，设定第一刀相对位置：−0.2，其余默认，如图 4−34 所示；挖槽参数与 4-1A.MC9 的步骤 4）相同。

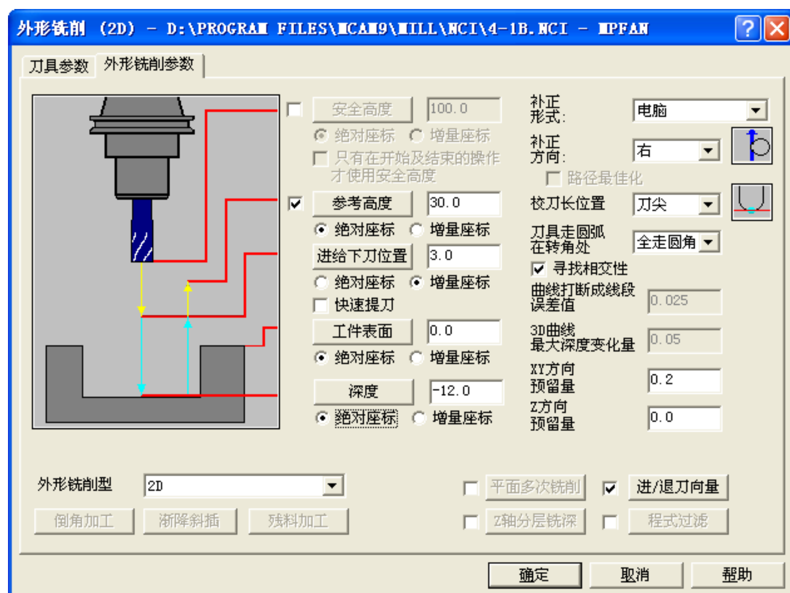


图 4−33　外形铣削

5）选择“曲面粗加工−等高外形”，从刀库中选择直径为 6mm 的平刀，除将主轴转速设定为 2500 外，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 1)；刀具编号改为 3，与反面加工的刀号对应。图形选择所有的曲面，切削范围选择 118mm×78mm 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.2，刀具的切削范围中刀具位置点选“外”；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.2，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，

其余默认；单击曲面加工参数的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：−0.1，最低位置：−10.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余默认，如图 4-35 所示。

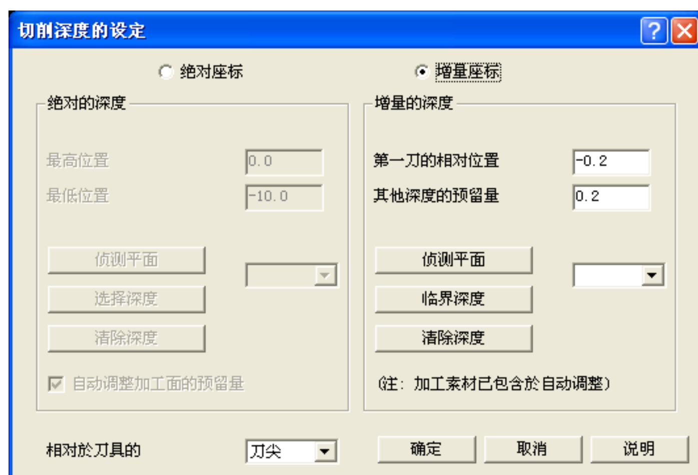


图 4-34 切削深度的设定

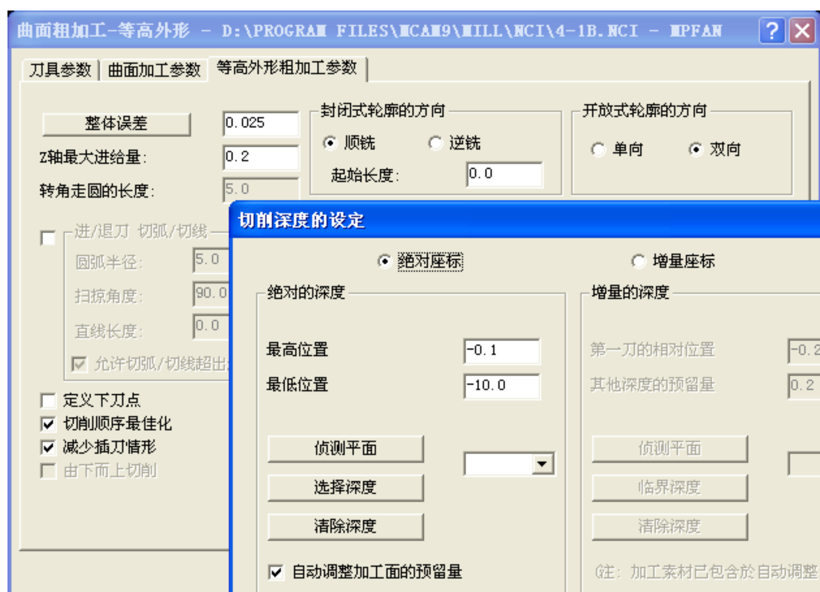


图 4-35 等高外形参数

6）选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，继续选择ϕ6 平刀，加工ϕ59 圆。除将主轴转速设定为 2500 外，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 1）；工件表面：0.0，深度：−6.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，不勾选“进/退刀向量”，勾选“平面多次铣削”，其余参数默认，如图 4-36 所示；在“外形铣削的渐降斜插”对话框中点选“深度”，设定斜插深度：0.3，勾选“在最终深度

补平”，其余默认；在“XY 平面多次铣削设定”对话框中设定粗铣次数：2 次，间距：3.1，其余默认，如图 4-37 所示。

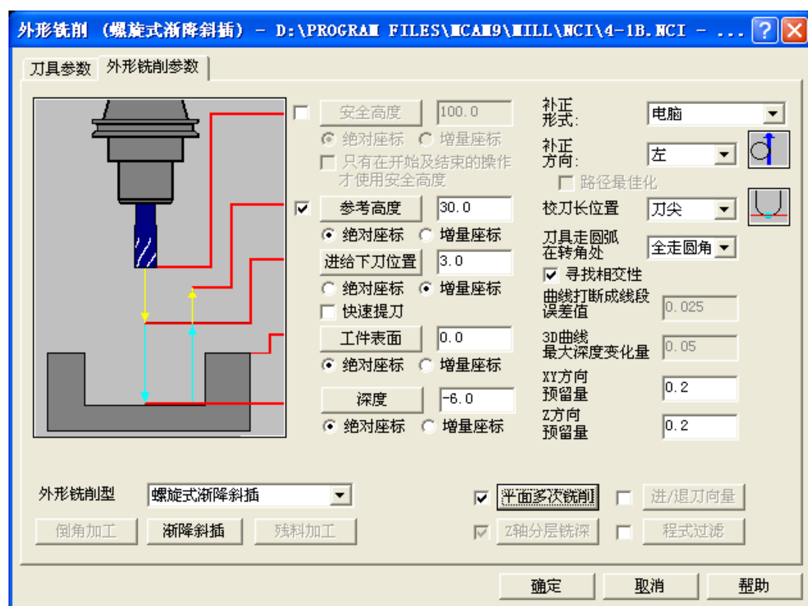


图 4-36　步骤 6）外形铣削参数

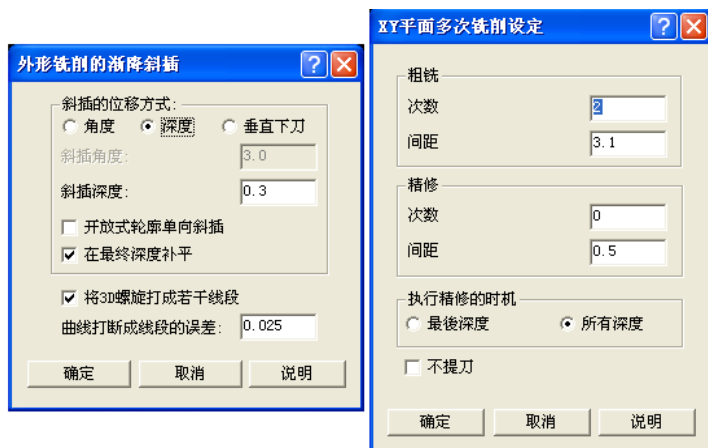


图 4-37　渐降斜插和平面多次铣削参数

7）选择“曲面粗加工-挖槽”，继续选择ϕ6 平刀，除将主轴转速设定为 2500 外，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 1）；加工面的选择如图 4-38 左图所示，切削范围选择ϕ40 圆，设定加工的曲面/实体预留量：0.2，刀具的切削范围中刀具位置点选“中”；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.3，勾选“由切削范围外下刀”，其余默认；切削深度参数、挖槽参数设定均同步骤 4）。将步骤 4）～7）设定为一个群组，名称为 CX。

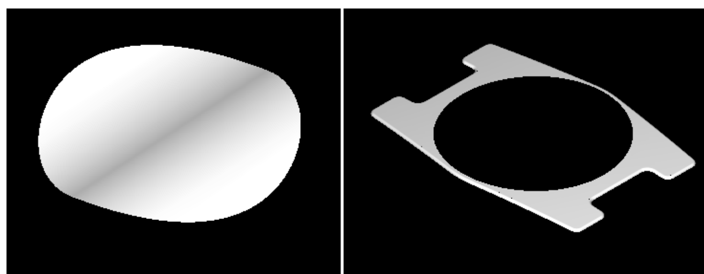


图 4-38　加工面的选择

8）新建群组“JX”，选择“挖槽”，仍然选择ϕ6 平刀，图形选择ϕ59 和ϕ40 的外圆。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400.0、下刀速率：200.0，主轴转速设定为 2500；在“挖槽参数”选项卡中，参考高度和进给下刀位置均同步骤 7），工件表面：−5.8，深度：−6.0，XY 方向预留量：−0.01，同时保证尺寸 $\phi59^{+0.046}_{0}$ 和 $\phi40^{0}_{-0.039}$，Z 方向预留量：−0.011，以保证尺寸 $6^{+0.022}_{0}$，其余默认；在“粗切/精修 参数”选项卡中，不勾选“精修”，勾选“斜插式下刀”，除将 XY 方向预留间隙调整为 0.5 外，其余参数均同图 4-13。

9）选择“曲面粗加工-挖槽”，继续选择ϕ6 平刀，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 8），图形选择所有的曲面，切削范围选择 118mm×78mm 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.0，刀具的切削范围中刀具位置点选“外”；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：1.0，勾选“由切削范围外下刀”，其余默认；单击曲面加工参数的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：−10.0、最低位置：−10.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，如图 4-39 所示；挖槽参数同步骤 4）。

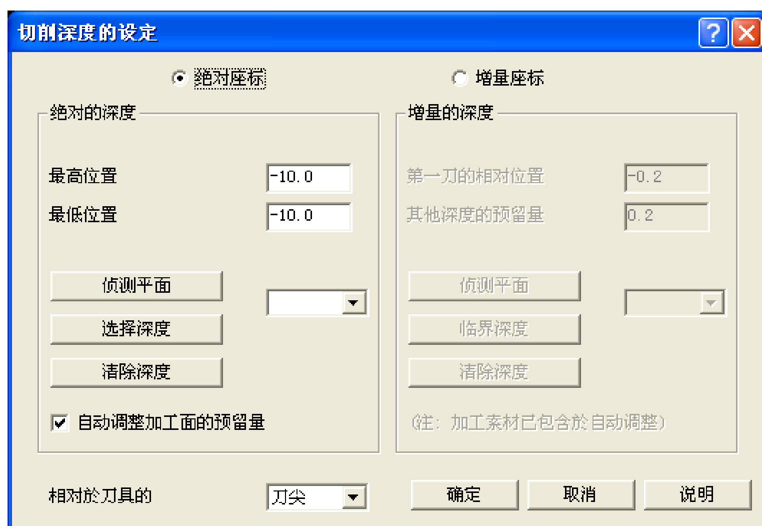


图 4-39　切削深度的设定

10）选择“曲面精加工-平行铣削”，从刀库中选择ϕ6 R3 球刀，将刀具编号改为 4，除将主轴转速设定为 3000 外，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 8）；在“曲面加工参数”选项卡中，图形选择如图 4-38 左图所示，设定加工的曲面/实体预留量：

0.0，不选定干涉的曲面/实体，也不设定刀具的切削范围；在“平行铣削精加工参数”选项卡中，切削方式选择“双向切削”，单击“整体误差”，设定过滤比率为 1:1，设定整体误差：0.02，设定最大切削间距：0.2，加工角度：90.0。单击“间隙设定”，设定容许的间隙，点选“距离”，勾选“切削顺序最佳化”，其余默认。

11）选择“曲面精加工-平行铣削”，仍然选择ϕ6 *R*3 球刀，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 10）；在“曲面加工参数”选项卡中，加工的图形选择图 4-38 右图所示，干涉面的选择如图 4-40 左图所示，设定加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留量：0.0，不设定刀具的切削范围；在“平行铣削精加工参数”选项卡中，切削方式选择“双向切削”，单击“整体误差”，设定过滤比率为 1:1，设定整体误差：0.02，设定最大切削间距：0.2，加工角度：45.0，勾选“限定深度”，在“限定深度”对话框里，设定最高位置：0.0、最低位置：−9.6，间隙设定参数同步骤 10），如图 4-41 所示。

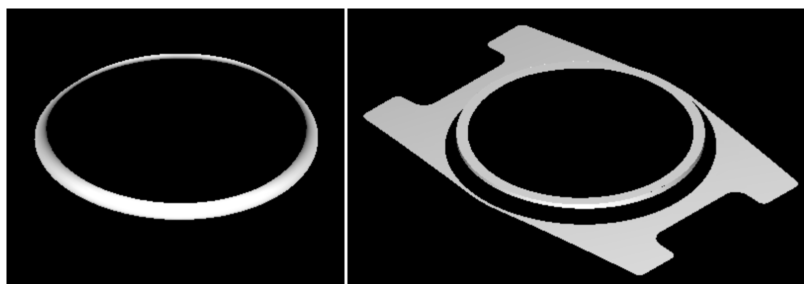


图 4-40　加工面和干涉面的选择

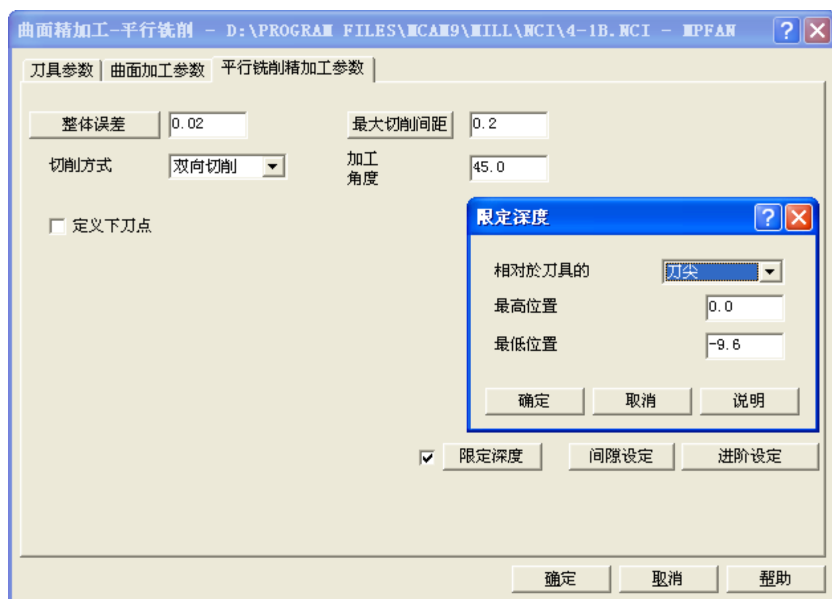


图 4-41　步骤 11）的平行铣削精加工参数

12）选择“曲面精加工-等高外形”，继续选择ϕ6*R*3 球刀，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 10）；在“曲面加工参数”选项卡中，加工的图形选择图 4-40 左图所示，干涉面的选择如图 4-40 右图所示，设定加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留

量：0.0，不设定刀具的切削范围；在“等高外形精加工参数”选项卡中，设定 Z 轴最大进给量：0.2，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，单击“间隙设定”，“提刀：如果步进量或每层切深大于”点选“距离”，设定为 360.0，其余默认，如图 4−42 所示。实体切削验证如图 4−43 所示。将文档保存为“4-1B.MC9”，选择后处理程序 MPFAN.PST，CX 和 JX 群组执行后程序文件为“4-1BCX.NC”和“4-1BJX.NC”，D16 群组根据对刀情况另行处理。

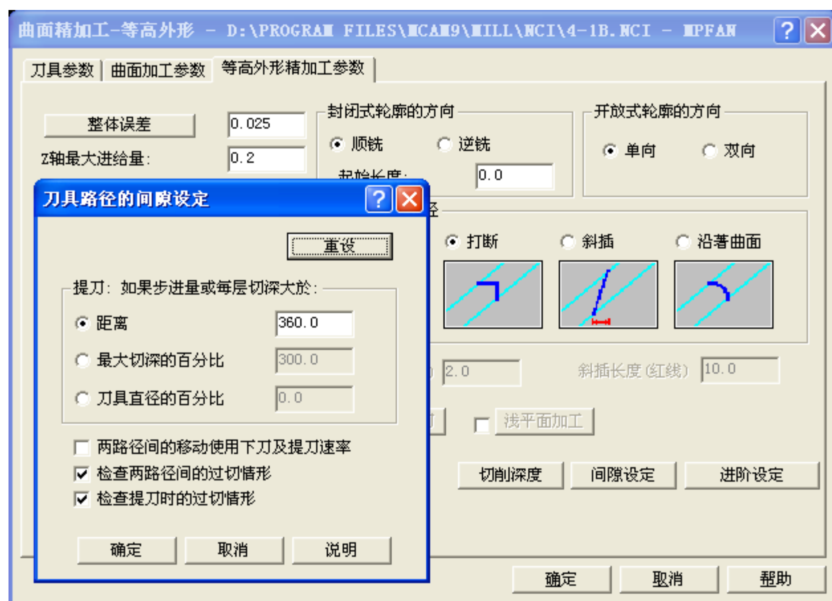


图 4−42　步骤 12）等高外形精加工参数

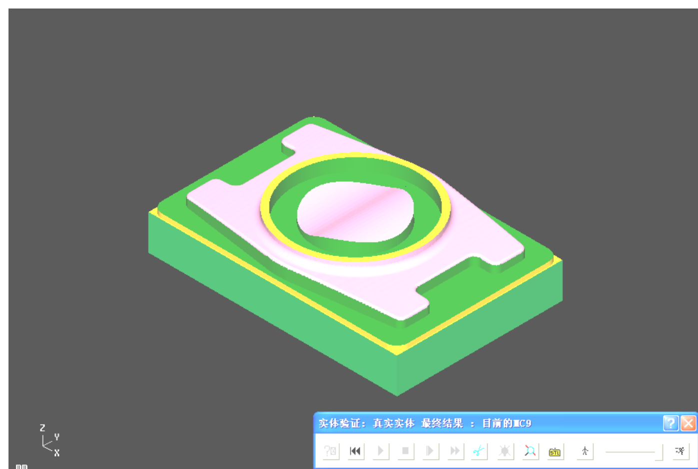


图 4−43　实体切削验证



注：

步骤 1）～3）主要为了实现精确对刀。正面对刀的主要问题是如何保证厚度尺寸 28mm，先以毛坯的上表面对刀，进行第一步面铣，然后测量厚度尺寸，用修正 G54 的 Z 值的方法来保证 Z 向的对刀精度。

步骤 3）主要用于光电式寻边器精确对刀的修正，由于毛坯大小往往比理论值大 1～2mm，反过来装夹时用光电式寻边器对刀时无法下刀到精加工的侧面，必须预先进行侧面的加工，然后对刀修正 G54 的 XY 方向的值，来保证零件的同轴度要求。根据不同的对刀方法，步骤 1）～3）不是必需的加工步骤。

步骤 6）用平面多次铣削的外形铣削（螺旋式渐降斜插）来代替一般挖槽，避免了较窄空间里的螺旋或斜插式下刀，比较有特点；步骤 8）的 XY 方向预留量为−0.01，主要是考虑 $\phi59^{+0.046}_{0}$ 和 $\phi40^{0}_{-0.039}$ 两个尺寸的公差带正好反向，采用挖槽方式时，$\phi59$ 直径增大的同时，$\phi40$ 直径减小，Z 向预留量为−0.011，主要是补偿深度方向的尺寸公差；步骤 12）是正面刀具路径编辑的难点，加工 *R*3 的圆环面用很多种方法都不好实现，这里采用 3 个干涉面的方法来实现。

4.6　FANUC 0i-MC 加工中心的基本操作

4.6.1　FANUC 0i-MC 加工中心的面板操作

VMC600 型 FANUC 0i-MC 加工中心是南通科技集团公司开发的中档加工中心，具有刚性较高、切削功率较大的特点。机床采用全封闭罩防护，具有 16 把刀的斗笠式刀库，能自动换刀，快速方便。机床主要构件刚度高，床身立柱、床鞍均为稠筋，封闭式框架结构，如图 4−44 所示。主要规格参数为

工作台面尺寸：	800mm×400mm
三向最大行程（X/Y/Z）：	610mm/410mm/510mm
主轴转速范围：	80～8000r/min
快速移动进给：	15000mm/min
定位精度：	0.005mm
重复定位精度：	0.003mm
机床净重：	6000kg
外形尺寸：	2500mm×2630mm×2550mm

FANUC 0i-MC 数控系统面板分为三个区，分别是 CNC 操作面板区、机床控制面板区（包含控制器接通与断开）和屏幕显示区，如图 4−45 所示。



图 4−44　VMC600 型 FANUC 0i-MC 加工中心

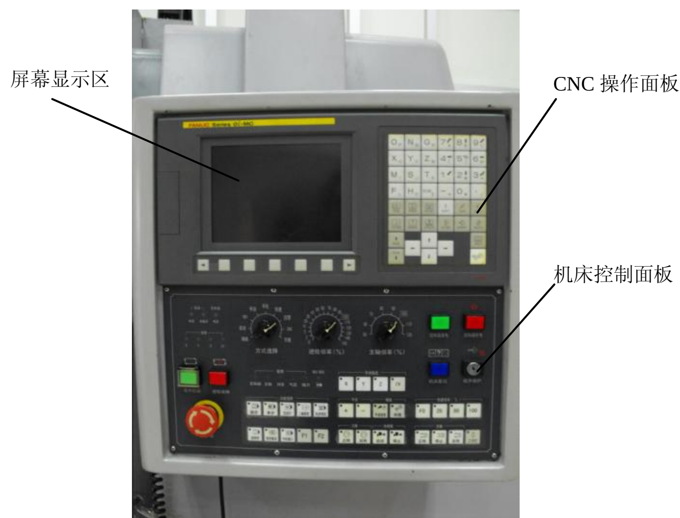


图 4-45　FANUC 0i-MC 系统面板

CNC 操作面板如图 4-46 所示，各按键功能见表 4-3；机床控制面板如图 4-47 所示，各按键功能见表 4-4。

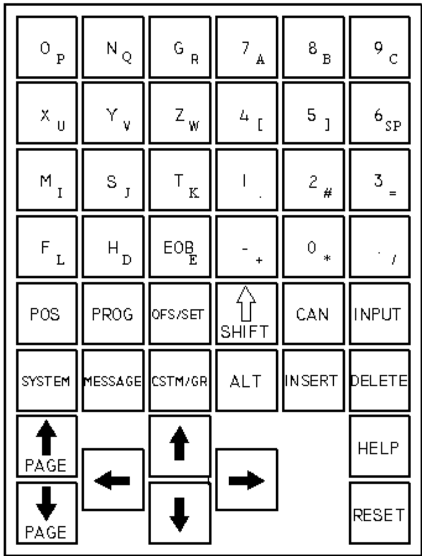


图 4-46　CNC 操作面板

表 4-3　CNC 操作面板各键说明

键	名　　称	功 能 说 明
0～9	地址、数字输入键	输入字母、数字和符号
SHIFT	上档键	上档切换到小字符
POS	加工操作区域键	显示加工状态界面
PROG	程序操作区域键	显示程序界面

（续）

键	名　称	功 能 说 明
OFS/SET	参数操作区域键	显示参数和设置界面
SYSTEM	系统参数键	设置系统参数
MESSAGE	报警显示键	显示报警内容
CSTM/GR	图像显示键	显示当前的进给轨迹
INSERT	插入键	编程时插入字符
ALT	替换键	编程时替换字符
CAN	回退键	编程时回退清除字符
DELETE	删除键	删除程序及字符
INPUT	输入键	输入各种参数
RESET	复位键	复位数控系统
HELP	帮助键	获得帮助信息
↑ PAGE ↓ PAGE	页面变换键	程序编辑时翻页
← ↑ ↓ →	光标移动键	移动光标

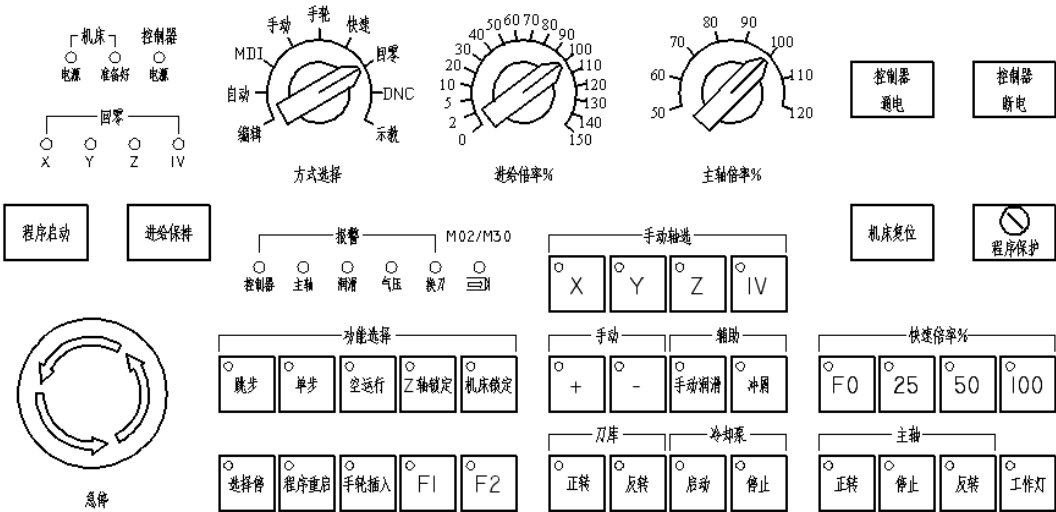


图 4-47　机床控制面板

表 4-4　机床控制面板主要按键及挡位功能说明

主要按键或挡位	功 能 说 明
方式选择	有编辑、自动、MDI、手动、手轮、快速、回零、DNC 和示教共 9 个挡位
进给倍率%	进给速度的修调
主轴倍率%	主轴速度的修调

（续）

主要按键或挡位	功 能 说 明
控制器通电	数控系统通电
程序启动	程序启动
进给保持	程序停止进给、主轴保持转速
机床复位	机床准备
程序保护	锁定位置时防止程序及系统参数的修改
急停	紧急停止
手动轴选 X、Y、Z、IV	在“手动”或“回零”挡位时，轴移动的选择，IV 表示第四轴
手动“＋”，“－”	在“手动”或“回零”挡位时，轴移动的方向
快速倍率%	只对 G0/G28/G30 有效
跳步	程序执行到“/”时跳过
单步	仅执行一条语句
空运行	以系统设定的进给速度运行，原程序进给率无效
Z 轴锁定	Z 轴锁定无机械运动，X、Y 轴可以运动
机床锁定	X、Y、Z、IV 轴均被锁定
选择停	程序执行到 M01 时停止
程序重启	程序重新从某个断点开始执行

1. 开机操作步骤

1）检查机床各部分初始状态是否正常，包括润滑油液面高度、气压表等。

2）合上机床右侧的电气总开关。

3）按下机床控制面板上的“控制器接通”按钮，系统进入自检，约 3min 后进入开机界面。

4）按箭头提示方向旋开“急停”按钮，按下“机床复位”按钮。

5）将方式选择旋到“回零”挡位。

6）回参考点：依次按下手动轴选的“Z”“+”“Y”“+”“X”“+”6 个按钮，Z、Y、X 三个方向分别回零，在 POS 加工操作界面，可以看到机床坐标系 MCS 的 X=0、Y=0、Z=0，表示各轴回零完成，如图 4-48 所示。

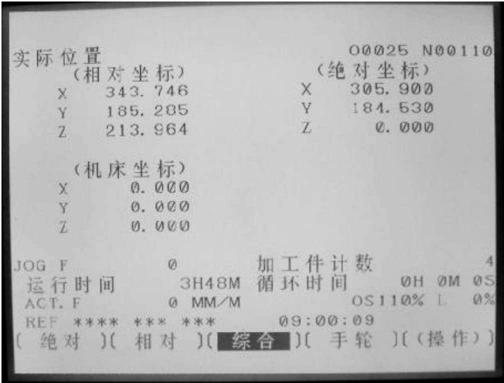


图 4-48 回零操作



注：

回零一定要先从 Z 轴开始，先抬起 Z 轴，避免撞刀，回零过程中机床控制面板上的回零指示灯会闪烁，必须等到常亮以后才能执行下一个轴的回零，这一点和 SIEMENS 系统有所不同，SIEMENS 系统的 3 个轴可以同时回零，而 FANUC 系统必须每个轴分别回零。

2. 程序的编辑与传输

将机床控制面板的“方式选择”转到“编辑”挡位，按下 CNC 操作面板的“PROG”键，将屏幕切换到程序管理界面，按下“列表”对应的软键，可以看到仅有系统保存的一条程序 O9001，该程序不可删除与修改。FANUC 系统的特点是程序名均以 O××××开头，其中××××为四位数字，如图 4−49 所示。



图 4−49　程序管理界面

3. 新建程序

1）在图 4−49 界面输入 O××××，比如“O0001”，按下“INSERT”键，即可进入到程序编辑界面；再按下“EOB”键和“INSERT”键，将分号加上去，变成“O0001;”。

2）输入每条语句，比如“G54 G90 G0 Z100”，每条语句结束后一定要记得按下“EOB”键。“EOB”键的作用就是在每条语句后面加一个分号“;”。

3）编辑每行语句直到结束。

4. 打开已有的程序

在图 4−49 界面输入将要打开的程序 O××××，比如“O0001”，按下↓↑键中的任何一个，即可打开该程序。

5. 程序的编辑

（1）插入漏掉的字符　例如在语句“G2 X123.456 Y234.567 F100”的阴影处插入字符“R50”。

1）将光标移动到 Y234.567 处。

2）输入 R50，按下“INSERT”键，语句即变成“G2 X123.456 Y234.567 R50 F100”。

（2）删除错误的字符

1）未按下“INSERT”键，直接用“CAN”键删除。

2）按下“INSERT”键，已经将错误字符输入到内存中，此时，将光标移动到错误处，

按下“DELETE”键删除。

（3）替换错误的字符　将光标移动到错误处，按下“ALT”键替换。

6. 删除内存中某个程序

在图 4-49 界面输入将要删除的程序 O××××，比如“O0001”，按下“DELETE”键，即可删除该程序。

7. 删除内存中所有的程序

在图 4-49 界面输入 O-9999，按下“DELETE”键，即可删除内存中所有程序。

8. 删除内存中指定范围程序

在图 4-49 界面输入“OXXXX，OYYYY”（XXXX 代表将要删除程序的起始号，YYYY 代表将要删除程序的终了号），按下“DELETE”键，即可删除内存编号 OXXXX～OYYYY 的所有程序。

9. 程序的传输（传输的文件<256KB）

1）电脑方：双击电脑桌面图标，启动传输软件 NCSentry，打开所要传输的文件，比如 4-1ACX.NC，如图 4-50 所示。

2）在窗口的左侧，将程序名 O0000 修改为 O0001，注意不要与内存原有的程序名重复。

3）机床方：在图 4-49 界面，按下“操作”对应的软键，按下软键▶后翻，按下“读入”对应的软键，按下“执行”，可见屏幕下方“LSK”闪烁，等待接收数据。

4）电脑方：单击图标，单击“Start”，进行程序发送，如图 4-51 所示。

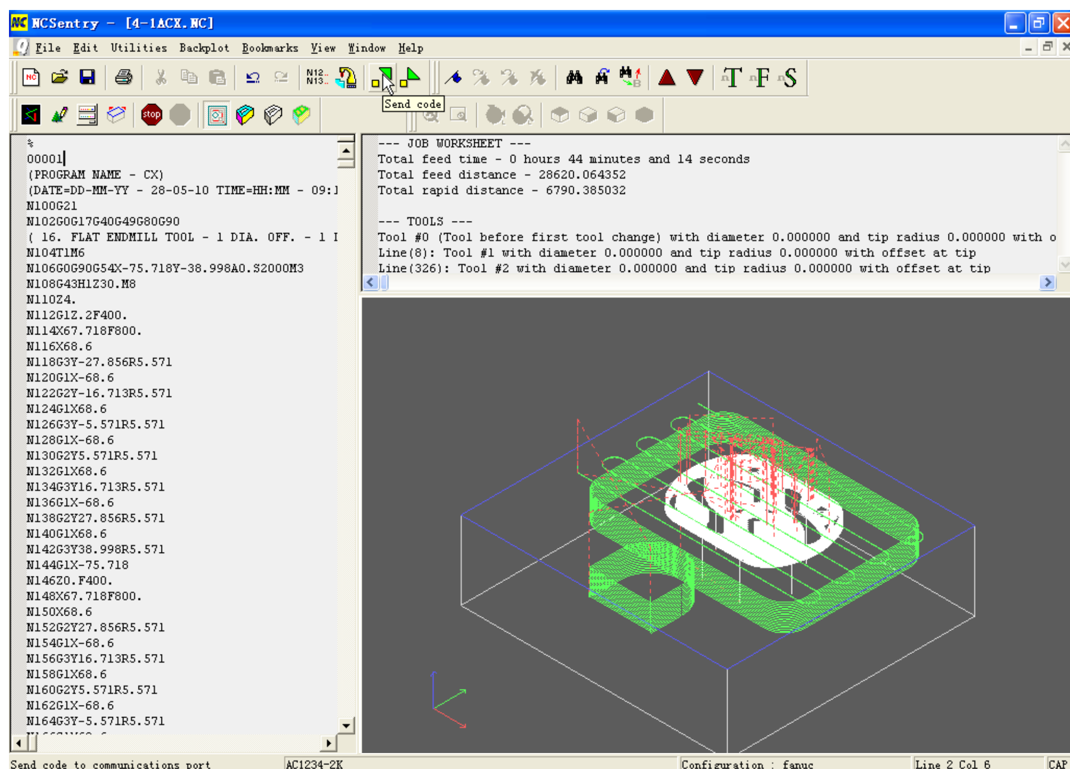


图 4-50　NCSentry 传输软件界面

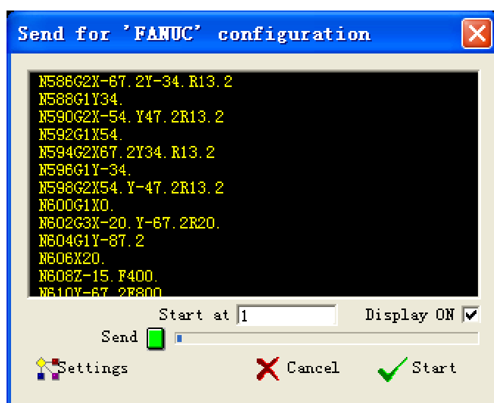


图 4-51　程序的传输

10. **程序的模拟仿真**

1）按下机床控制面板的“空运行”“Z 轴锁定”或“机床锁定”键。

2）按“PROG”键显示程序管理界面，打开要运行的程序，将所有换刀指令前加上跳步符“/”。

3）按下机床控制面板的“跳步”键，按下“程序启动”键开始加工。

4）按下 CNC 操作面板的“CSTM/GR”键，查看刀具路径轨迹。

11. **程序的自动运行**

1）将机床控制面板的“方式选择”转到“自动”挡位。

2）按“PROG”键显示程序管理界面，打开要运行的程序，确保当前不是第一把刀，如果是，则在 T1 M06 指令前加上跳步符“/”。

3）按下机床控制面板的“跳步”键，按下“单步”“选择停”键，主轴倍率选择 100%，进给倍率选择 10%以下，快速倍率选择 25%，按下“程序启动”键开始加工。

4）程序开始自动运行，缓慢下刀，发现问题应及时按下“进给保持”，然后用“RESET”键复位，停机检查；若没有问题，则取消“单步”，将进给倍率恢复到正常，快速倍率恢复到 100%，开始加工。

5）首件试切时应按下“选择停”键，即 M01 有效，程序执行到换刀指令时自动停下，若要重新运行，再次按下“程序启动”键即可。

4.6.2　FANUC 0i-MC 加工中心的对刀操作

FANUC 系统的对刀与 SIEMENS 系统有明显的不同，加工中心与数控铣床的对刀也有较大的差别。以 FANUC 0i-MC 加工中心为例，基本的对刀操作步骤如下：

1）准备工作：按照第 2 章步骤将工件毛坯装夹好，用锁刀座将刀具总成安装好，注意编号 T1：ϕ16 立铣刀，T2：ϕ7.5 钻头，T3：ϕ6 立铣刀，T4：ϕ6 R3 球刀，注意装刀高度。

2）将机床控制面板的“方式选择”转到“MDI”挡位，在“PROG”界面输入“T1 M6;”，按下“程序启动”键，开始换刀，将刀库当前刀位转到第一把刀刀位。若此时已经在第一把刀刀位时，报警灯会亮，则按下“RESET”键复位。

3）将机床控制面板的“方式选择”转到“手动”或“手轮”挡位，左手拿住已装好的编号 T1：ϕ16 的立铣刀刀具总成，将刀具总成上的键槽对准主轴孔上的键，右手按下机床主轴的“刀具松开”按钮，将刀具总成快速送入主轴，听见“噗“的一声，松开“刀具松开”按钮，将刀柄正确地安装在主轴上。如果装不上，可以反复操作几次。

4）将机床控制面板的“方式选择”转回“MDI”挡位，在“PROG”界面输入“M3 S500;”，按下“程序启动”，使主轴以 500r/min 的速度正转，然后按下 CNC 操作面板的“RESET”键复位。

5）将机床控制面板的“方式选择”转到“手轮”挡位，按下机床控制面板的“主轴正转”键，使主轴以 500r/min 的速度正转，利用手轮快速移动工作台和主轴，让刀具靠近工件毛坯的左侧，目测刀尖低于工件表面 3～5mm，改用微调操作，让刀具慢慢接触到工件左侧，直到听到轻微切削或者刮擦声，同时可以看到有少量切屑出现，如图 4−52 左图所示。

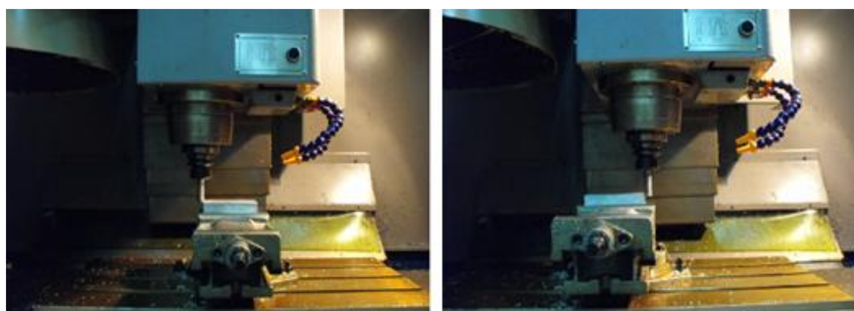


图 4−52　X 方向对刀

6）将屏幕切换到 POS 界面，按下“综合”对应的软键，可以看到此时的绝对坐标、相对坐标和机床坐标，在屏幕下方输入“X”，按下“归零”对应的软键，将 X 方向的相对坐标设定为 0.000，如图 4−53 所示。

7）用手轮抬起刀具至工件上表面之上，快速移动工作台和主轴，让刀具靠近工件右侧，与步骤 5）相同，改用微调操作，让刀具慢慢接触到工件右侧，直到听到轻微切削或者刮擦声，同时可以看到有少量切屑出现，如图 4−52 右图所示。此时 X 轴相对坐标为 137.598，如图 4−54 所示。



图 4−53　X 左边对刀相对坐标归零



图 4−54　X 右边对刀相对坐标

8）通过简单计算可知，137.598/2=68.799，手轮抬起刀具至工件上表面之上，快速移动工作台和主轴至 X 相对坐标值为 68.799 处，注意观察，此时 X 方向的机床坐标值为−313.068，如图 4−55 所示。

9）按下 CNC 操作面板上的“OFS/SET”键，将屏幕切换到参数设置界面，按下“工件系”对应的软键，将光标移动到 G54 的 X 处，在屏幕下方输入“X0”，按下“测量”对应的软键，G54 的 X 值自动写入到该处，比较步骤 8）的机床坐标系的值，发现是一致的，如图 4−56 所示。



图 4−55　X/2 相对坐标



图 4−56　G54 的设定

10）Y 轴方向对刀与 X 轴一样，所不同的是步骤 6）应选择“Y”归零；将光标移动到 G54 的 Y 处，在屏幕下方输入“Y0”，按下“测量”对应的软键。

11）Z 方向对刀：数控铣床和加工中心对刀的最大区别在 Z 轴上。加工中心要实现所有长短不一的刀具对刀后的 G54 都在工件的表面，首先将 G54 的 Z 值设定为 0.000，然后通过调用刀具长度补偿的方法来实现，如图 4−56、图 4−57 所示。

将 Z 轴设定器置于工件表面，用校正棒校正表盘，使指针到“0”处，用手轮缓慢下刀，使刀尖轻轻碰触到 Z 轴设定器上表面的活动块，继续下移 Z 轴，使得指针指到“0”处，记下此时机床坐标系的 Z 值：−301.241。



图 4−57　Z 方向对刀

12）按下 CNC 操作面板上的“OFS/SET”键，将屏幕切换到参数设置界面，按下“偏

置”对应的软键，进入刀具补偿值界面，在第一把刀的“外形（H）”的值输入−301.241，由于 Z 轴设定器的标准高度是 50，所以必须再向下 50mm，输入−50，按下“+输入”对应的软键，此时 H1=−351.241，如图 4−58 所示。

13）此时，第一把刀的对刀已经完成，重复步骤 2）、3）和 11），注意换刀指令相应改成“T× M6;”，将所有余下的刀具全部对刀完成。由于第一把刀的 XY 方向已经对好刀，后续刀具只需要 Z 方向对刀即可，不必再对 XY 方向了，所有刀具对刀完毕后的长度补偿值如图 4−59 所示。

O0025 N00110

偏置 NO.	外形 (H)	磨损 (H)	外形 (D)	磨损 (D)
001	-351.241	0.000	0.000	0.000
002	0.000	0.000	0.000	0.000
003	0.000	0.000	0.000	0.000
004	0.000	0.000	0.000	0.000
005	0.000	0.000	0.000	0.000
006	0.000	0.000	0.000	0.000
007	0.000	0.000	0.000	0.000
008	0.000	0.000	0.000	0.000

实际位置（相对坐标）
X 68.799　Y -8.715
Z -87.277
OS110% L 0%
HND **** *** *** 09:26:12
(搜索)( )(INP. C.)(+输入)(输入)

图 4−58　T1 的长度补偿值

O0025 N00110

偏置 NO.	外形 (H)	磨损 (H)	外形 (D)	磨损 (D)
001	-351.241	0.000	0.000	0.000
002	-354.819	0.000	0.000	0.000
003	-384.371	0.000	0.000	0.000
004	-380.532	0.000	0.000	0.000
005	0.000	0.000	0.000	0.000
006	0.000	0.000	0.000	0.000
007	0.000	0.000	0.000	0.000
008	0.000	0.000	0.000	0.000

实际位置（相对坐标）
X 68.799　Y -8.715
Z -87.277
OS110% L 0%
HND **** *** *** 09:29:14
(搜索)( )(INP. C.)(+输入)(输入)

图 4−59　所有刀具的长度补偿值

14）在 Mastercam 编辑刀具路径时，由于“工件设定”对话框设定的 Z 向表面为 1，也就是说，工件毛坯的上表面在 G54 的实际 Z 值为 1，而对刀对的也是工件毛坯的上表面，因此，必须下移 1mm 才是 Mastercam 刀具路径编辑实际的 G54 Z 值零点。解决办法是按下“OFS/SET”键，将参数设置界面工件坐标系 G54 的 Z 值修正为−1 即可。



注：

步骤 4）是 FANUC 特有的，FANUC 系统不像 SIEMENS 系统，直接按下“主轴正转”，主轴就开始转动，而是必须在本次开机后运行一个主轴正转的程序，然后才能够实现“主轴正转”；步骤 14）中工件坐标系 G54 的 Z=−1，也可以根据个人习惯设定该值为 0，然后在所有刀具补偿值里面减 1。

4.6.3　程序的录入与零件的反面加工

通过对刀以后，就可以开始加工了。由于程序比较大，超过了机床的内存 256KB，因此采用 DNC 方式加工，步骤如下：

1）将机床控制面板的“方式选择”转到“DNC”挡位。

2）机床方：直接按下机床控制面板的“程序启动”键，按下“单步”“选择停”键，可见屏幕下方“LSK”闪烁，等待接收数据。

3）电脑方：发送文件 4-1ACX.NC，方法与前面讲述的方法一致。

4）按照 4.6.1 节的“11．程序自动运行”的步骤 2）～5），开始加工。

5）程序执行完毕后，机床自动停机。开始首件检测，检查各尺寸公差是否合格，如果超差，要仔细分析原因，然后在精修步骤中修改相应的补偿量。

4.6.4　零件正面的对刀与加工

为了保证零件厚度的精度和正反面的同轴度要求，正面加工的对刀 XY 方向必须采用精度较高的光电式寻边器，Z 方向采用试切法来保证尺寸精度要求。

对刀步骤：

1）由于毛坯误差的存在，光电式寻边器的球形触头不可能直接接触到已经精加工过的侧面。在没有专用夹具的情况下，先以粗定位方式进行 XY 方向对刀，对刀步骤与 4.6.2 节的步骤 5）～10）大致相同，所不同的是用光电式寻边器时，主轴不动，用寻边器的球心碰触工件两边，小心操作，直到氖光灯刚刚点亮，如图 4-60 左图所示。

2）将 Z 轴设定器放在工件毛坯上表面，以 T1（ϕ16 的立铣刀）按照 4.6.2 节的步骤 11）进行 Z 向对刀，记下此时 Z′ 值，与 Z 值之差记为 $\Delta = Z' - Z$。

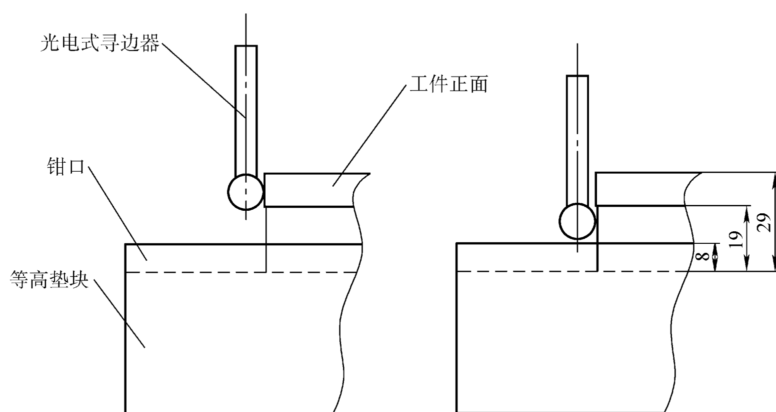


图 4-60　零件正面 XY 方向的粗定位和精确定位

3）在 4.6.2 节的步骤 14），G54 的 Z=–1，以“+输入”的方式，将 Δ 值输入到 G54 的 Z 值中去，完成 Z 向对刀。

例 4-1

4.6.2 节的步骤 11）记下的 Z=–301.241，而 Z′=–302.304，可得 $\Delta = Z' - Z = -1.063$，将 Δ 值输入到 G54 的 Z 值中，此时 Z=–1–1.063=–2.063。



注：

4.6.4 节的步骤 3）是基于“以第一把刀作为长度基准，所有刀具的高度差在加工中是不会变化的”这一论断，只需修改工件坐标系 G54 的 Z 值，来实现所有刀具的对刀，而不必重新一把把对刀和重新设定长度补偿。

4）将 4.5 节零件正面刀具路径编辑的步骤 1）后处理的程序传入机床加工，该步骤是将整个表面面铣，铣深 0.7，留有 0.3 余量，停机后测量厚度值。理论上 L_{TZ}=28.3，如果实际测量值为 L_{PZ}=28.36，则将计算出的 $\Delta' = L_{TZ} - L_{PZ}$ 的值以“+输入”的方式，将 Δ′ 值输入

到 G54 的 Z 值中去，完成 Z 向对刀修正。

例 4-2

在步骤 3）中，此时 G54 的 Z=−2.063，4.5 节步骤 1）的面铣程序执行完以后，测量可得 L_{PZ}=28.36，那么 $\Delta'=L_{TZ}-L_{PZ}$=−0.06，将该值以“+输入”的方式，将 Δ′ 值输入到 G54 的 Z 值中去，此时 Z=−2.063−0.06=−2.123。

5）将 4.5 节零件正面刀具路径编辑的步骤 2）～3）后处理的程序传入机床加工，在进行侧面的螺旋式渐降斜插外形铣削时，XY 方向留有余量 0.2。

6）用光电式寻边器的球形触头接触到已经精加工过的侧面，以步骤 1）的方式修正 XY 方向对刀，如图 4-60 右图所示。

通过步骤 1）～6），零件正面的对刀修正已经完成，可以开始正式加工了。

还有一种用杠杆式百分表进行 G54 的 X、Y 方向对刀的方法，可以不用预先对工件正面进行外形铣削，如图 4-61 所示。

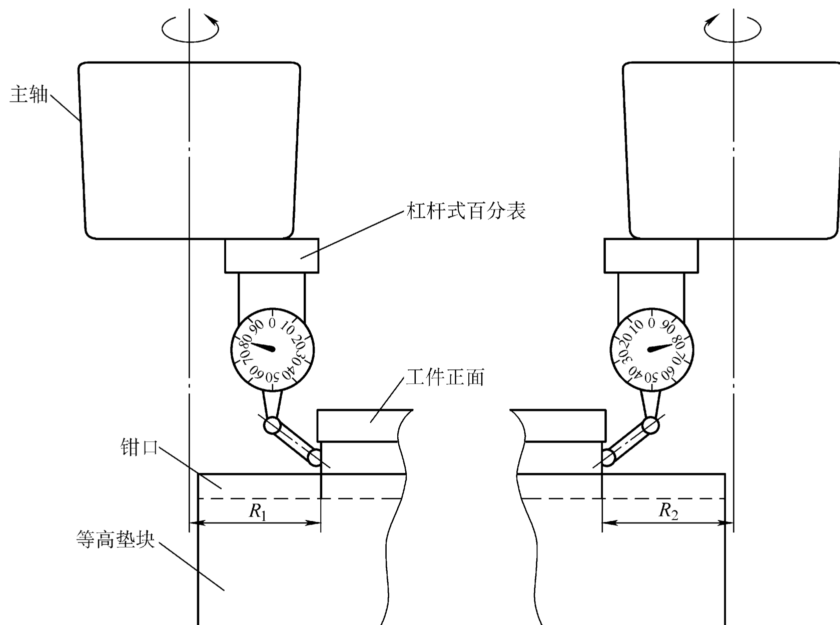


图 4-61　杠杆式百分表 XY 方向对刀

对刀步骤：

1）将杠杆式百分表的磁性表座紧紧吸附在主轴上，表头探针接触左侧已经加工过的表面，转动主轴，使得百分表沿空间平面画弧，反复调试，找到百分表的最大读数，比如 80。记下此时的机床坐标 X_1 和 Z_1 值，此时空间画弧的半径为 R_1，如图 4-61 左图所示。

2）左侧让开工件，抬起主轴，利用手轮摇到右侧同样高度 Z_1 处，用表头探针接触右侧已经加工过的表面，转动主轴，使得百分表沿空间平面画弧，反复调试 X 方向，使得百分表的最大读数同样为 80，如图 4-61 右图所示。百分表相对主轴位置无移动的情况下，可以认为 $R_1=R_2$，记下此时机床坐标 X_2，可得 G54 的 X=（X_1+X_2）/2。

3）同理，可进行 Y 方向对刀。

本 章 小 结

本章是一个较为复杂的用 Mastercam 加工的例子，零件的正反两面都需要加工，而且部分尺寸有一定精度要求。

本章应注意的几个问题:

1）在建模阶段就应考虑加工问题，从便于装夹角度来看，先加工反面比较合适。

2）加工中心和铣床相比，刀具路径的编辑、对刀的方式、加工的过程上都有很大的不同，其自动化程度更高，精度的控制就更显重要。

3）本章正面加工的难点在对刀上，如何保证反面的轮廓和正面轮廓的同轴度，同时又要让反面对刀的长度补偿值同样能用于正面对刀，需要多加思考。本章采用的方法也不一定是最好的，存在效率不高的问题，正面加工的步骤 1）～3）其实都是为了对刀，对零件的实际加工作用不大。

4）本章主要采用电脑补正的方式来控制精度，控制器补正方式、通过半径补偿或长度补偿对于挖槽、等高轮廓、平行铣削等加工方式来说几乎是无法实现的。

第 5 章　经典实例四

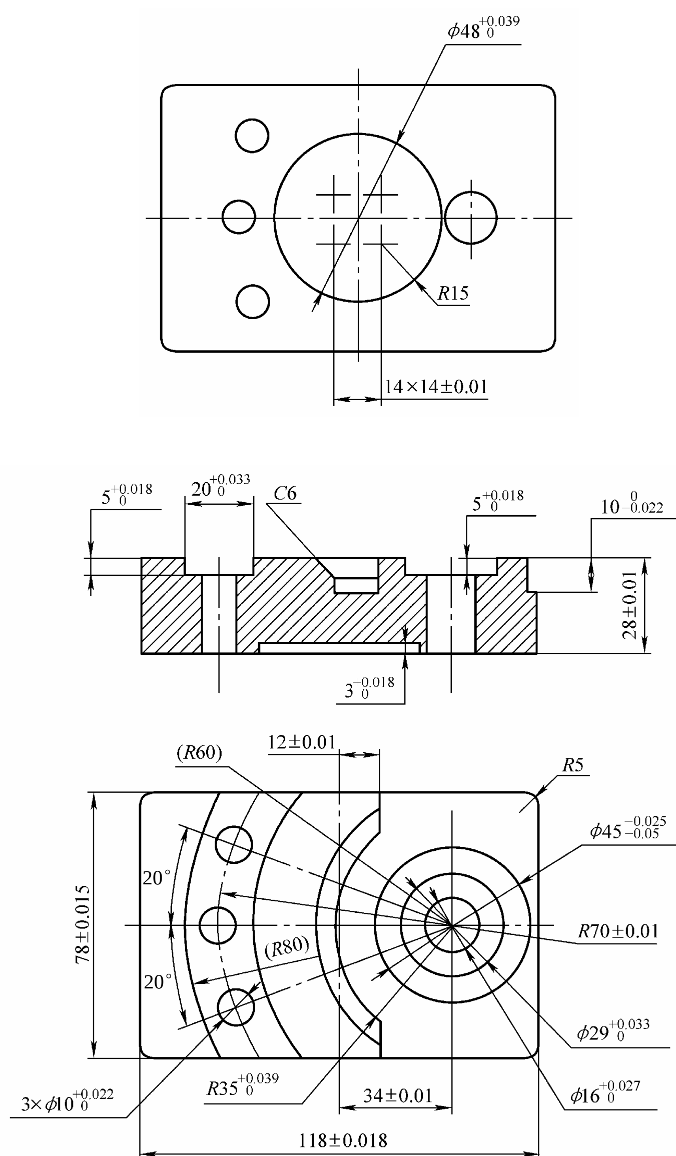


图 5-1　零件 1

图 5-2　零件 2

本例是加工中心高级技师考题，材料为铝，备料尺寸为 120mm×80mm×30mm。

技术要求：

1）以中小批量生产要求编程。

2）零件 1 与零件 2 的配合按照 H8/f7 精度要求。

3）未注公差尺寸按 GB/T1804—m。

5.1　零件 1 和零件 2 的工艺分析

数控铣、加工中心高级技师的要求是在规定的时间里加工两个零件，零件装配后能够形成配合。单件生产多采用配作加工的方法来实现，技术经济性不好，零件没有互换性。以中小批量生产要求编程，零件必须满足互换性要求。数控铣床（加工中心）能够达到的精度为

0.02mm，因此，用加工中心加工能够满足精度要求。本例中的零件 1 与零件 2 的配合为间隙配合，根据公差与配合的优先系列，采用基孔制 H8/f7 配合，将其换算为相应的公差尺寸。

零件 1 和零件 2 的正反两面均需加工，零件图形不算太复杂，多采用二维线框加工，建模采用名义尺寸，公差要求通过工艺来保证。综合考虑零件 1 和零件 2 对刀具的要求，本例加工采用 T1（ϕ9.5 麻花钻头）、T2（ϕ10 立铣刀）、T3（ϕ6*R*3 球刀）、T4（ϕ6 键槽铣刀）来加工。

5.2 零件 1 的正面 CAD 建模

操作步骤如下：

1）以 Z0 为作图深度，绘出 118mm×78mm 矩形，在“选项”里勾选“角落倒圆角：开”，设定半径：5，以原点为抓点方式。

2）分别以 45、29、16 为直径作圆，圆心点：X34Y0。

3）设定新的作图深度 Z10，以 X34 Y0 为圆心点，作圆 ϕ70、ϕ120、ϕ140、ϕ160。

4）以任意两点作垂线，输入 X 坐标：–13。以原点为抓点方式绘出 137mm×91mm 矩形。

5）以极坐标方式绘出角度为 160°和 200°、长度 100 的直线，以该直线与圆弧 ϕ140 的交点为圆心作 3 个圆 ϕ10。

6）修剪各处，完成以后的图形如图 5-3 左图所示。

7）分别选择 ϕ120、ϕ160 的圆弧，选择圆角角度大于 180°，圆角 *R*10 两处。完成以后的图形如图 5-3 右图所示。

8）将刚才的二维图形默认放在第 1 层，设定名称“line”，新建层：2，设定名称“solid”，颜色为“9”（蓝色），将第 2 层设为当前层。

9）将视图切换到等角视图，单击“实体”“挤出”，选择 118mm×78mm 矩形，方向“下”，距离：28；单击“实体”“挤出”，选择由步骤 7）产生的图形，方向“下”，距离：15，点选“切割主体”；选择由步骤 4）产生的图形，方向“下”，距离：20，点选“切割主体”。

10）单击“实体”“挤出”，选择 ϕ45 的圆，方向“下”，距离：11，点选“增加凸缘”。

11）单击“实体”“挤出”，选择 ϕ29 的圆，方向“下”，距离：5，点选“切割主体”；选择 ϕ16 的圆，方向“下”，点选“切割主体”“全部贯穿”。选择 3×ϕ10 的圆，方向“下”，点选“切割主体”“全部贯穿”。

12）选择实体边界，倒角 6×6。

13）新建层：3，设定名称“surface”，颜色为“8”（灰色），将第 3 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“由实体产生”，选择刚才所建的实体，产生曲面，并关闭第 2 层。最终建模效果如图 5-4 所示。

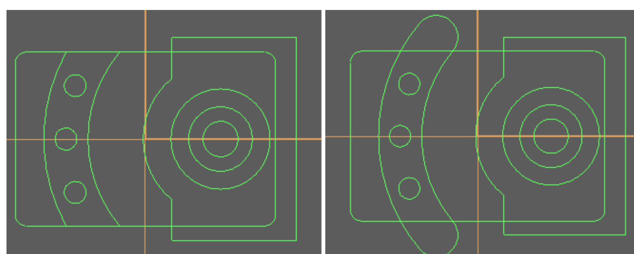


图 5-3 零件 1 的正面二维建模

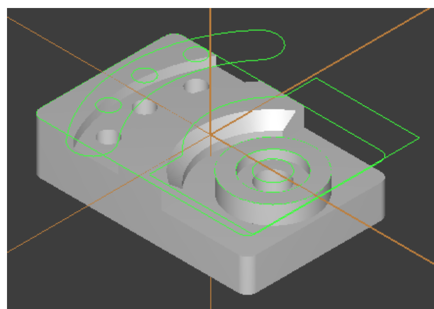


图 5-4 零件 1 的正面 CAD 建模

5.3　零件 1 的正面刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）从刀库中选择ϕ10 钻头，单击鼠标右键，弹出“定义刀具”对话框，将其直径改为 9.5，其余默认退出。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：100、主轴转速：1200，冷却液：喷油，图形选择 3×ϕ10 孔，选择“深孔啄钻—完整回缩”，输入工件表面：1.0、深度：–30.0，勾选“刀尖补偿”，其余参数默认，如图 5-5 所示。

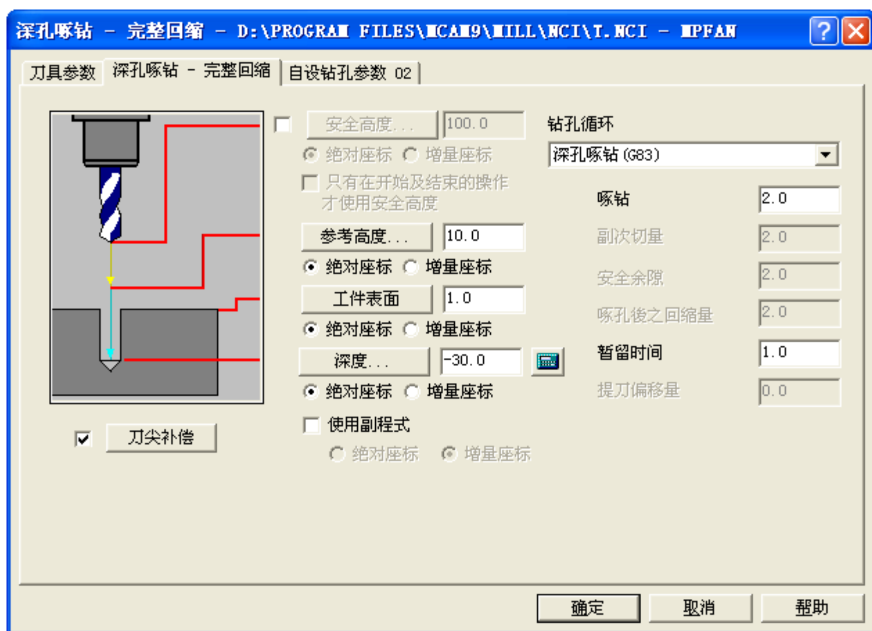


图 5-5　钻孔参数

2）选择“面铣”，从刀库中选择ϕ10 平刀，加工 118mm×78mm 矩形上表面。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油。在“面铣参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：1.0，深度：0.0，勾选“Z 轴分层铣深”，在“Z 轴分层铣深设定”对话框中勾选“精修”，次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，其余默认。

3）选择“外形铣削（2D）”，加工 118mm×78mm 矩形外形。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2），工件表面：0.0，深度：–19.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“Z 轴分层铣深”，勾选“进/退刀向量”，参数默认。在“Z 轴分层铣深设定”对话框中，输入最大粗切深度：0.8，勾选“不提刀”，其余默认。

4）选择“曲面粗加工—挖槽”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2）。在“曲面加工参数”选项卡中，图形选择所有的曲面，切削范围选择 118mm×78mm 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.4，刀具的切削范围中刀具位置点选“外”，如图 5-6 所示；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.8，勾选“由切削范围外下刀”，

如图 5-7 所示；单击“粗加工参数”选项卡的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：–0.8、最低位置：–10.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，如图 5-7 所示；在“挖槽参数”选项卡中选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：80.0，其余默认，如图 5-8 所示。

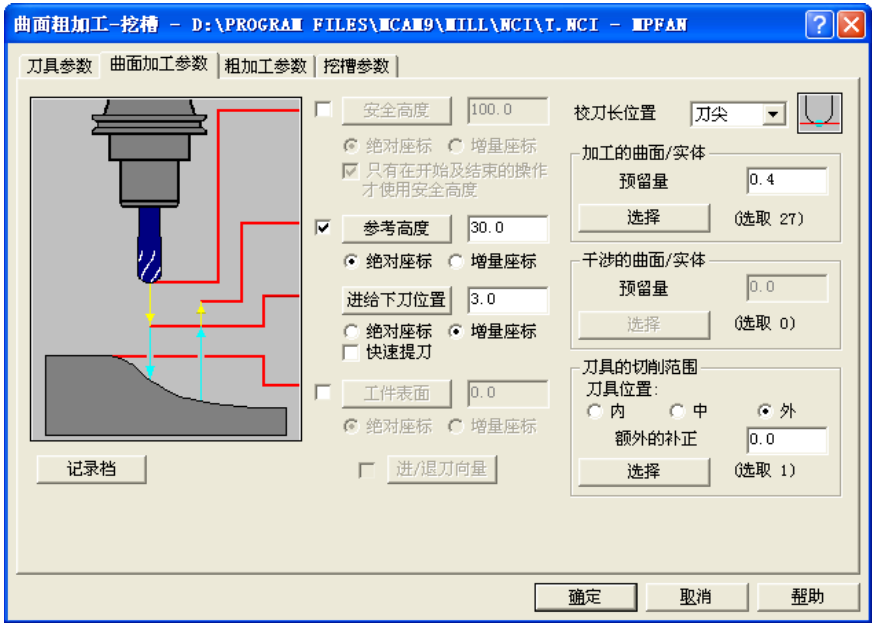


图 5-6 曲面加工参数

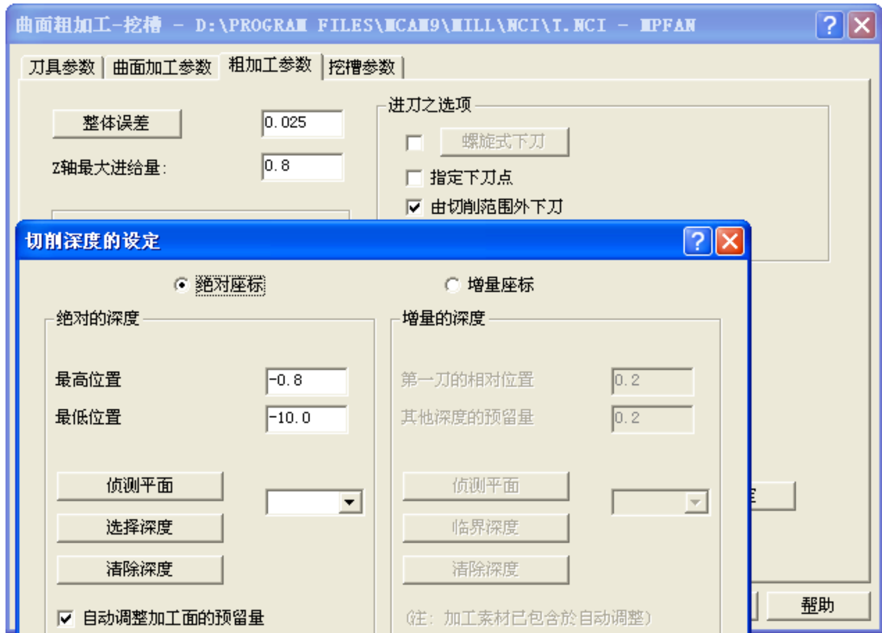


图 5-7 粗加工参数



图 5-8　曲面挖槽参数

5）选择“曲面粗加工—等高外形”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2）。设定加工的曲面/实体预留量：0.2，干涉的曲面/实体预留量：0.2，不选择切削范围，如图 5-9 所示；加工面的选择如图 5-10 左图所示，干涉面的选择如图 5-10 右图所示；在“等高外形粗加工参数”选项卡中设定轴最大进给量：0.3，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，开放式轮廓的方向点选“双向”，其余默认，如图 5-11 所示。将以上步骤 1）～5）设定为群组 CX。

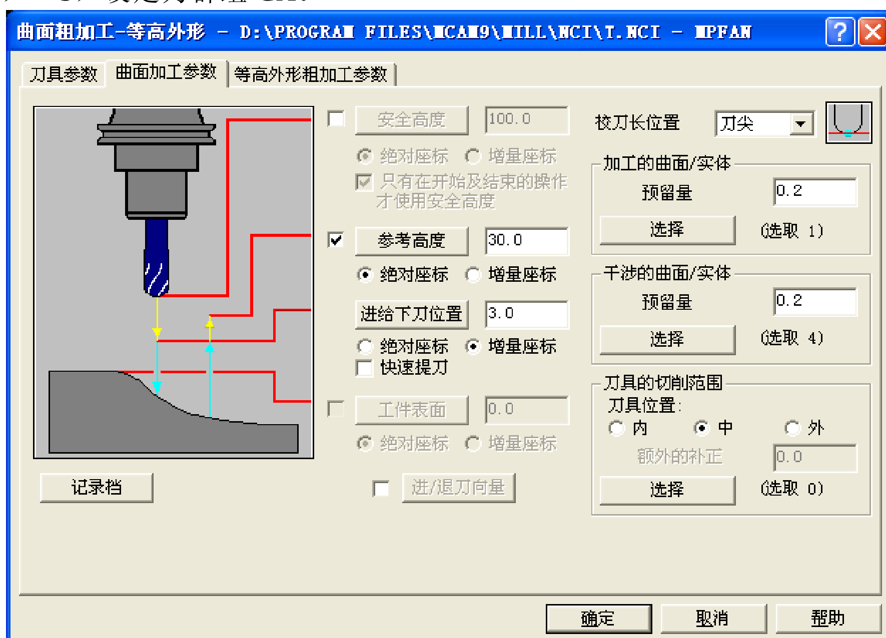


图 5-9　等高外形曲面加工参数



图 5-10　加工面与干涉面的选择

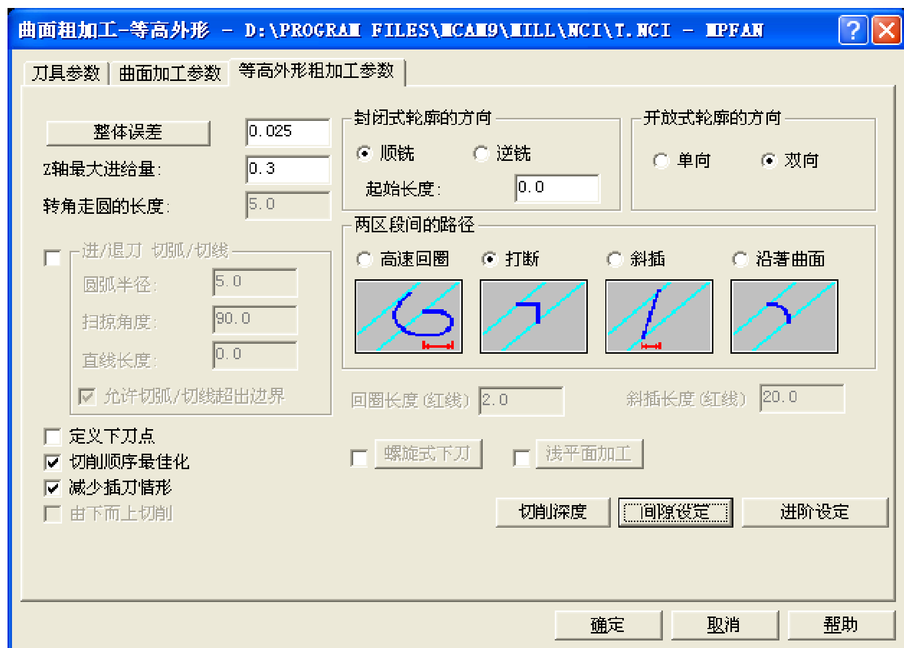


图 5-11　等高外形粗加工参数

6）选择“挖槽（一般挖槽）”，继续选择 $\phi10$ 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“挖槽参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，图形选择如图 5-12 左图所示，工件表面：–4.5，深度：–5，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：–0.009，以保证尺寸 $5^{+0.018}_{0}$，勾选“分层铣深”，设定精修次数：1、精修量：0.2，分层铣深的顺序点选“依照深度”，勾选“不提刀”，其余默认，如图 5-13 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75.0，勾选“刀具路径最佳化”，其余默认，如图 5-14 所示。

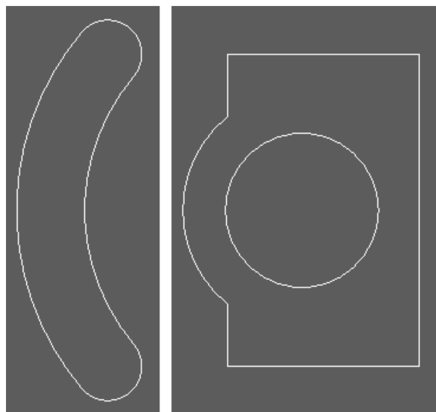


图 5-12　加工图形

7）复制步骤 6），在“挖槽参数”选项卡中将工件表面改为–9.5，深度改为–10，图形

选择如图 5-12 右图所示，设定 Z 方向预留量 0.011，保证尺寸$10^{\ 0}_{-0.022}$ ，其余默认。

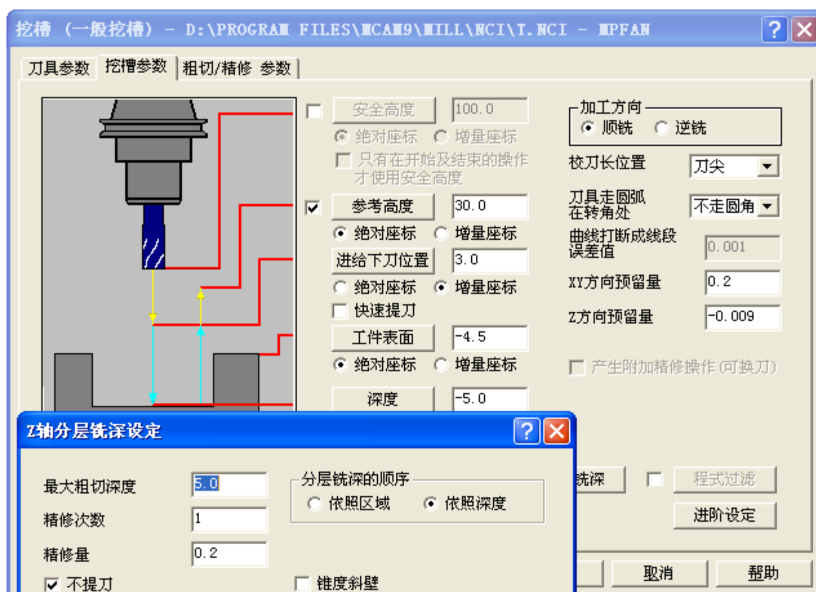


图 5-13　挖槽参数

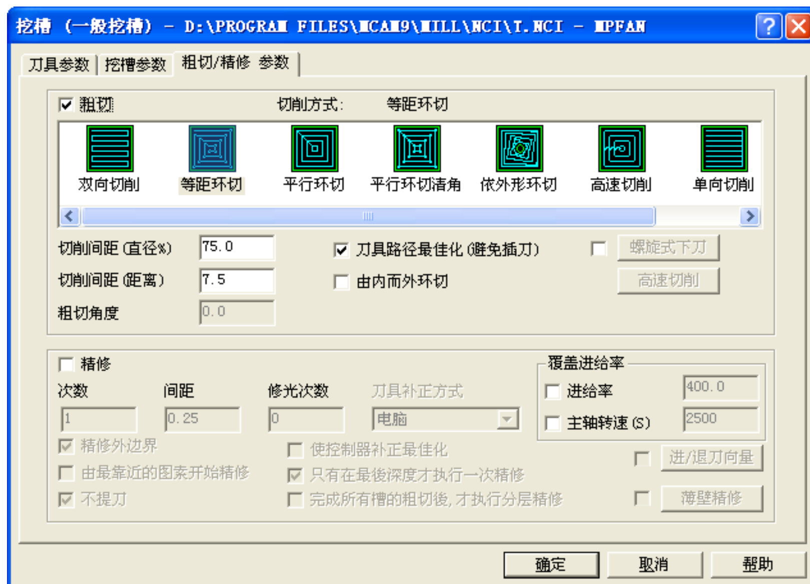


图 5-14　粗切/精修参数

8）复制步骤 6），图形选择ϕ29 圆，在“刀具参数”选项卡中将进给率改为 800，下刀速率改为 400，其余默认；在“挖槽参数”选项卡中将工件表面改为 0，深度：–5.0，勾选“分层铣深”，在分层铣深设定里，设定最大粗切深度：0.6；在“粗切/精修 参数”选项卡中，勾选“螺旋式下刀”，设定 Z 方向开始螺旋位置：0.5，如果所有下刀失败，点选“中断程式”，勾选“刀具路径最佳化”“由内而外环切”“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度执行

一次精修”，覆盖进给率勾选“进给率”，设定为 400.0，其余参数均默认，如图 5-15 所示。

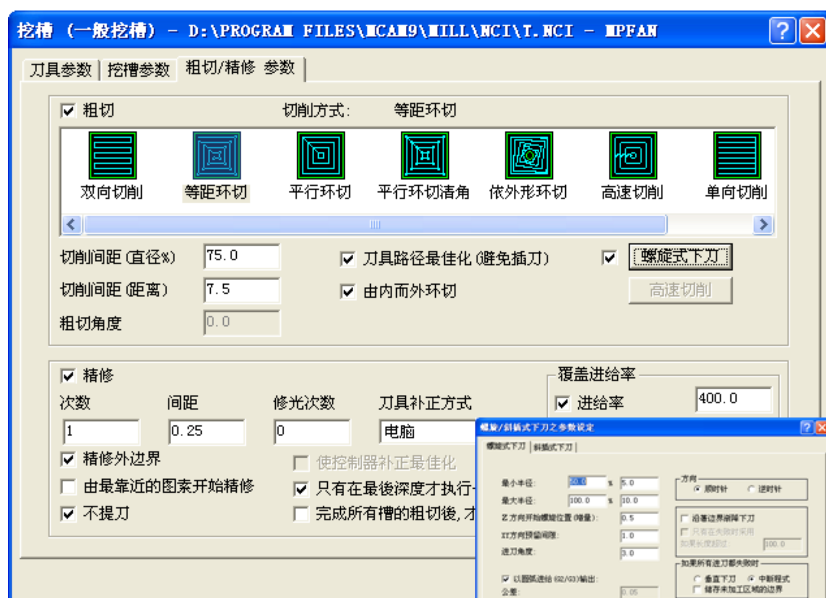


图 5-15　粗切/精修参数与螺旋式下刀参数

9）选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，继续选择ϕ10 平刀，图形选择ϕ16 孔，进给率改为 600，下刀速率改为 300，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 6），工件表面：–5.0，深度：–30，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左；在“外形铣削渐降斜插”对话框中点选“深度”，设定斜插深度：0.5，勾选“在最终深度补平”，其余默认，如图 5-16 所示。将以上步骤 6）～9）设定为一个群组，群组名称 BJX。

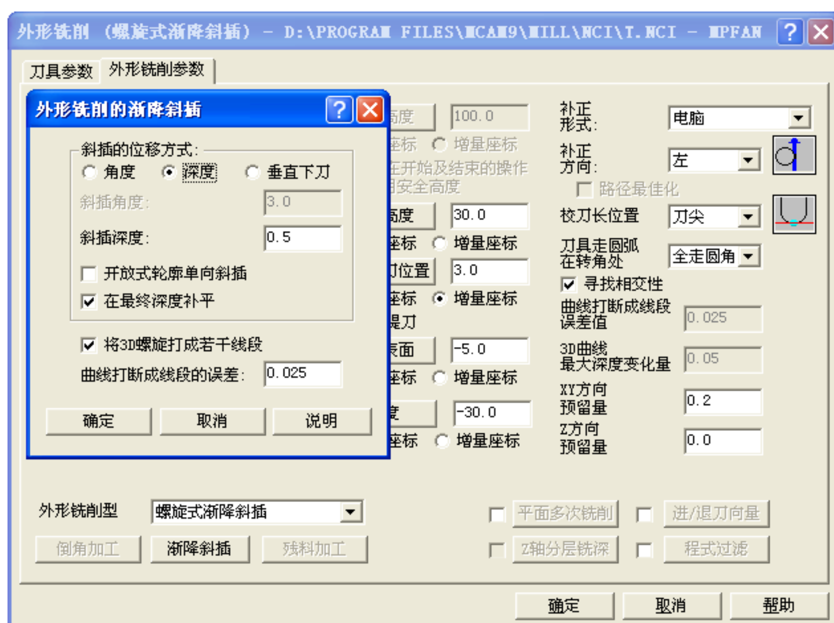


图 5-16　外形铣削（螺旋式渐降斜插）参数

10）选择“外形铣削（2D）”，精修 118mm×78mm 矩形外形，保证尺寸（118±0.018）mm 和（78±0.015）mm。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“外形铣削参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：–19.0，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“Z 轴分层铣深”，勾选“进/退刀向量”，其余参数默认。在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：10.0，勾选“不提刀”，其余默认。

11）选择“外形铣削（2D）”，图形如图 5-12 左图所示，精修内边界，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 10），在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：–5.0、深度：–5.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：–0.008，保证尺寸 $20^{+0.033}_{0}$，Z 方向预留量：–0.009，其余默认，如图 5-17 所示。

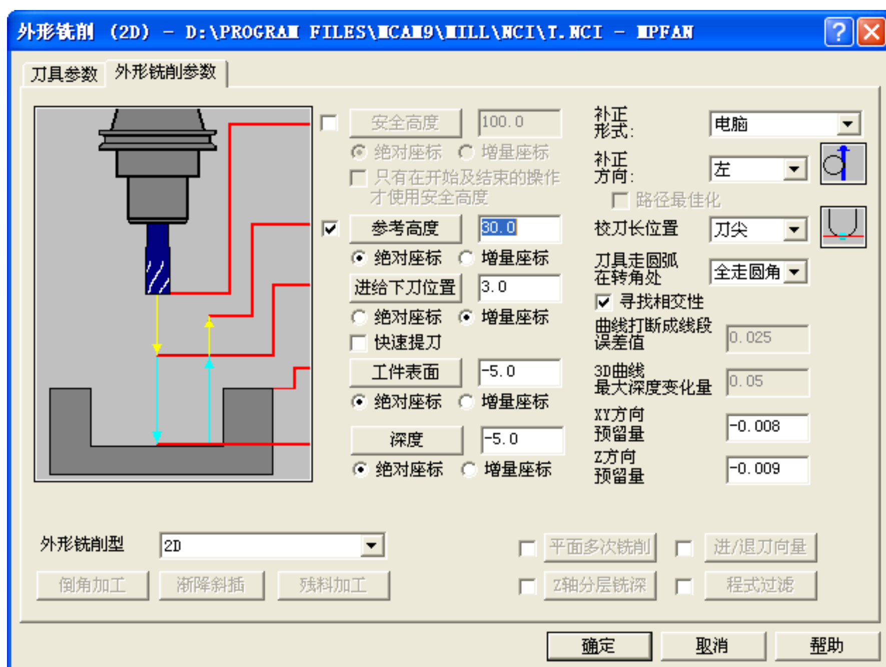


图 5-17　步骤 11）外形铣削参数

12）复制步骤 11），图形选择图 5-12 右图的外边界，将工件表面改为–10.0，深度改为–10.0，设定 XY 方向预留量：–0.02，保证尺寸 $R35^{+0.039}_{0}$，Z 方向预留量 0.011，保证尺寸 $10^{0}_{-0.022}$，其余默认，如图 5-18 所示。

13）选择“外形铣削（2D）”，精修 ϕ45 圆，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 10），在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：–10.0、深度：–10.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，设定 XY 方向预留量：–0.018，保证尺寸 $\phi45^{-0.025}_{-0.05}$，Z 方向预留量：0.011，保证尺寸 $10^{0}_{-0.022}$，勾选“进/退刀向量”，其余默认，如图 5-19 所示。

14）复制步骤 13），图形选择 ϕ29 圆，工件表面：–5.0，深度：–5.0，补正形式选择“电脑”，

补正方向：左，XY 方向预留量：–0.008，保证尺寸 $\phi 29^{+0.033}_{0}$，Z 方向预留量：–0.009，以保证尺寸 $5^{+0.018}_{0}$，其余默认，如图 5–20 所示。

在“进/退刀向量设定”对话框中，“进入”和“离开”均点选“垂直”，长度为 60%，圆弧为 0.0%，其余默认。

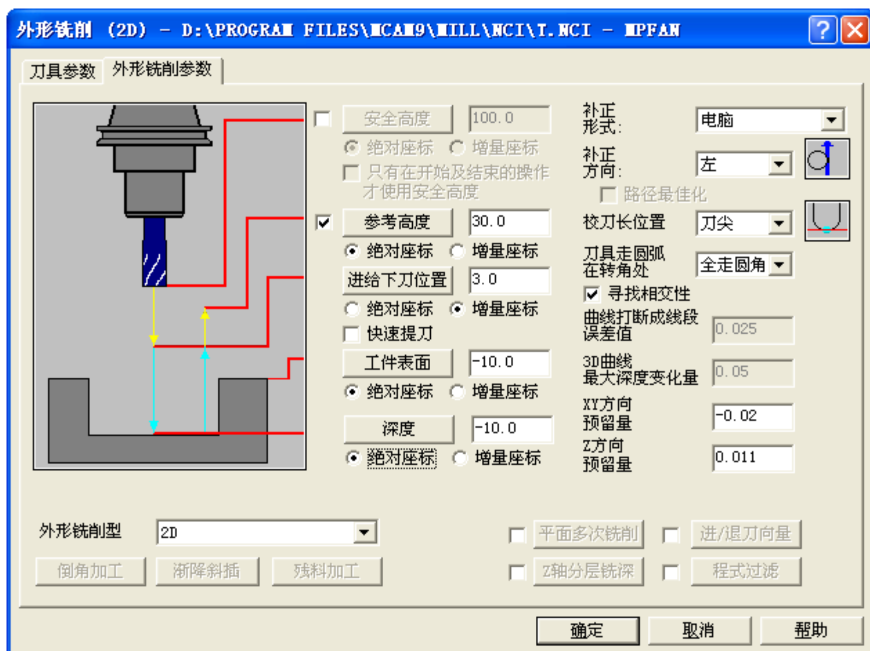


图 5–18 步骤 12）外形铣削参数

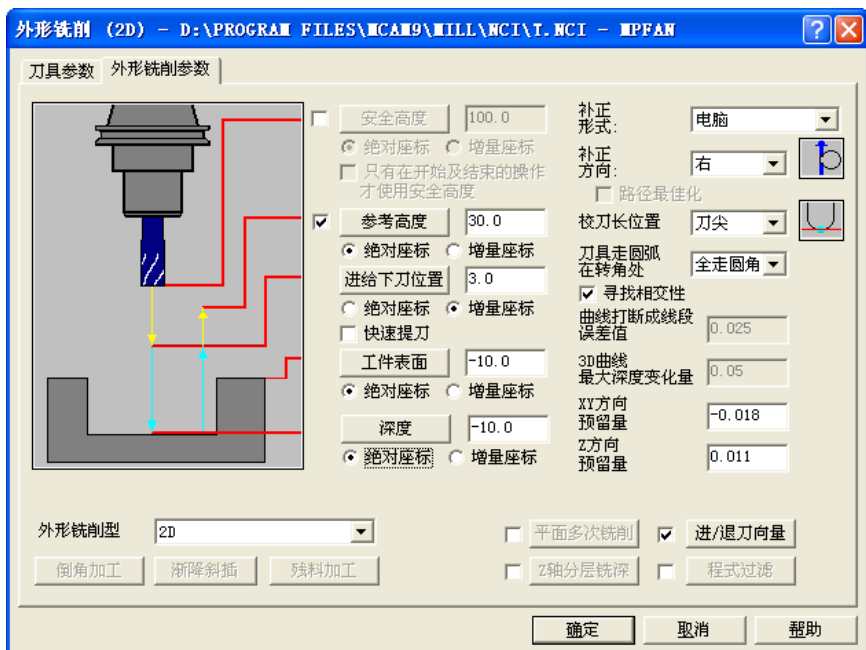


图 5–19 步骤 13）外形铣削参数

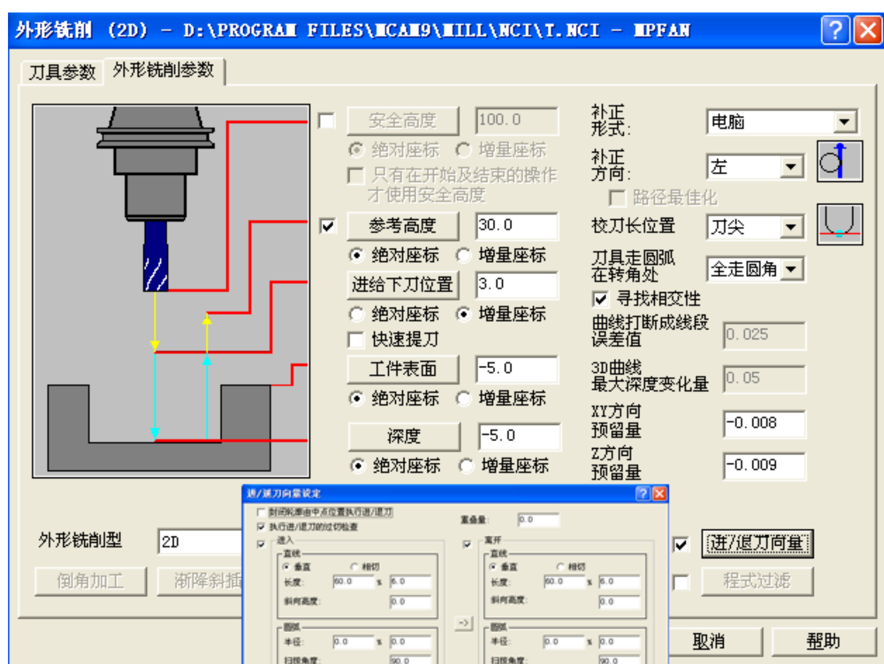


图 5-20　步骤 14）外形铣削参数

15）选择“外形铣削（2D）”，精修 $\phi16$ 通孔，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 10），在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：−5.0、深度：−30.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：−0.007，保证尺寸 $\phi16^{+0.027}_{0}$，Z 方向预留量：0.0，勾选“程式过滤”，参数与步骤 11）相同，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度：−10.0，勾选“不提刀”，勾选“进/退刀向量”，进入和离开均点选“垂直”，长度设定为 15%，圆弧设定为 0%，其余默认，如图 5−21 所示。

16）选择“曲面精加工—流线”，从刀库中选择 $\phi6R3$ 球刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：3000，冷却液：喷油。在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，设定加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留量：0.0，加工面和干涉面的选取与步骤 5）相同；在“曲面流线精加工参数”选项卡中，截断方向的控制点选“距离”，设定为 0.2，其余默认，如图 5−22 所示；单击“整体误差”按钮，选择过滤的比率为 1:1，设定整体误差 0.02，如图 5−23 左图所示；单击“间隙设定”按钮，点选容许的间隙为“距离”，勾选“切削顺序最佳化”，其余默认，如图 5−23 右图所示。


注：

在步骤 13）～15）中，孔的精修操作不能够沿着孔壁直接下刀，必须有一个进退刀量。进退刀量点选“垂直”，假设刀具直径为 d，孔直径为 D，百分比的计算一般是（$D-d$）×100%/（$2d$），圆弧设定为 0%即可。

在步骤 16）刀具路径的间隙设定中，容许的间隙点选为“距离”，主要是避免多次的抬刀。有兴趣的读者可自己对比一下默认方式下与容许的间隙点选为“距离”方式下的刀具路径。

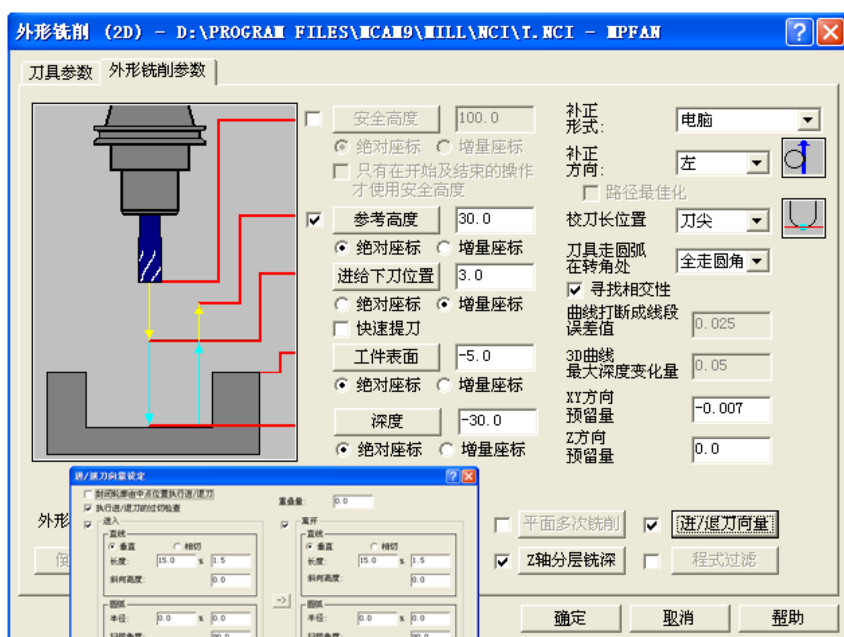


图 5-21　步骤 15）外形铣削参数



图 5-22　曲面流线精加工参数

17）选择“外形铣削（2D）”，从刀库中选择 ϕ6 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“外形铣削参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，设定工件表面：0.0，深度：−30.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：−0.005，保证尺寸 $\phi10^{+0.022}_{0}$ ，Z 方向预留量：0.0，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度：−10.0，勾

选“不提刀”，其余默认。勾选“进/退刀向量”，进入和离开均点选“垂直”，长度设定为 30%，圆弧设定为 0%，其余默认，如图 5-24 所示。将步骤 10）～17）设定为群组 JX。工件设定为 X120 Y80 Z30，工件原点 X0 Y0 Z1.0，实体切削验证如图 5-25 所示。

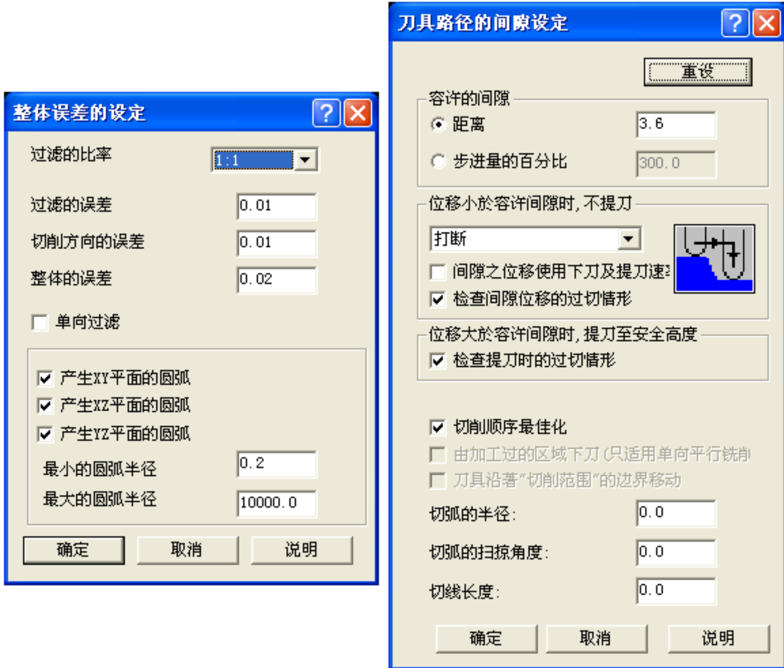


图 5-23　整体误差与间隙设定

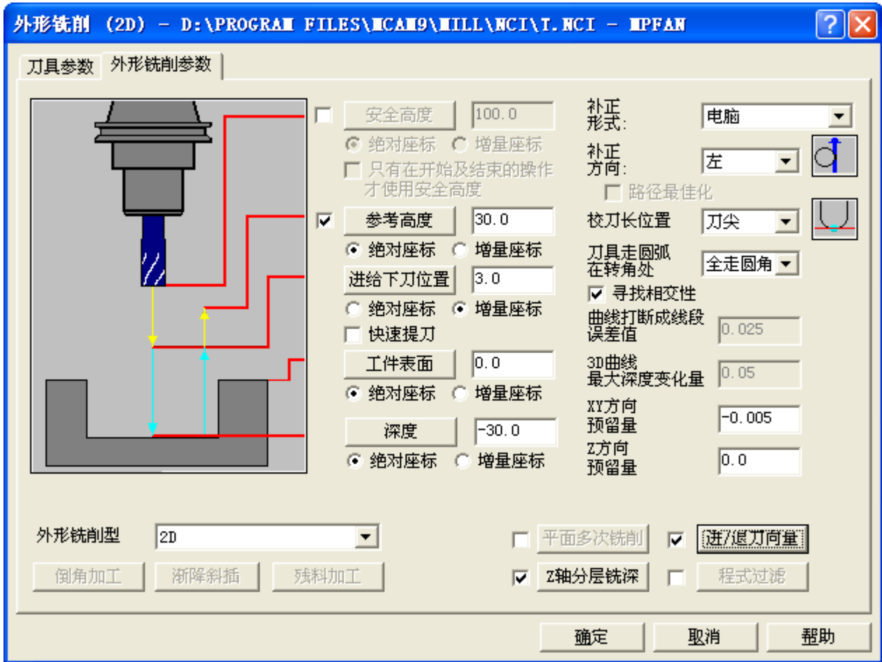


图 5-24　步骤 17）外形铣削参数

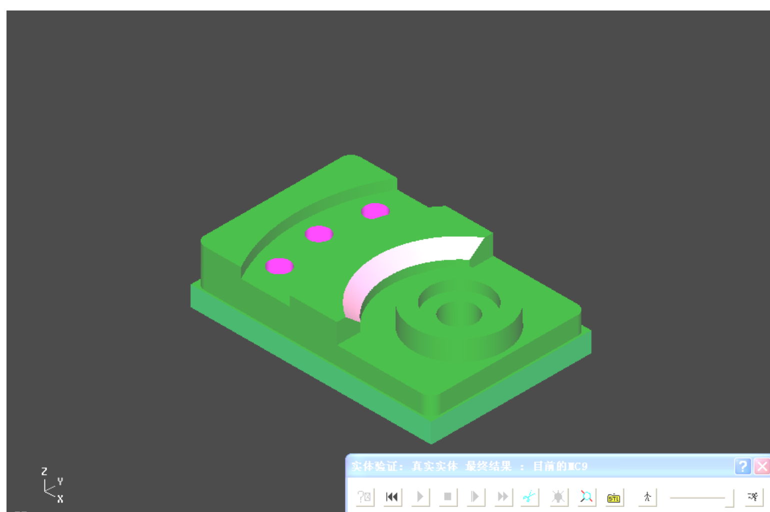


图 5-25 零件 1 正面实体切削验证

5.4 零件 1 的反面 CAD 建模

零件 1 的反面图形较为简单，只需二维线框建模即可。

操作步骤如下：

1）以 Z0 为作图深度，绘出 118mm×78mm 矩形，在“选项”里勾选“角落倒圆角：开”，设定半径：5.0；绘出 14mm×14mm 矩形，关闭“角落倒圆角”，均以原点为抓点方式。

2）以原点为圆心绘制ϕ48 圆，以 14mm×14mm 矩形 4 个端点为圆心作 R15 圆，删除矩形 14mm×14mm，修剪后图形如图 5-26 所示。

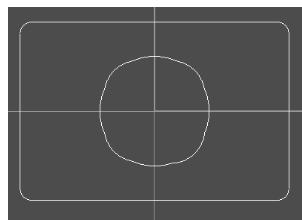


图 5-26 零件 1 反面建模

5.5 零件 1 的反面刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）选择“面铣”，从刀库中选择ϕ10 平刀，将刀具编号改为 2，以便与正面加工的刀号对应。加工 118mm×78mm 矩形上表面。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油。在“面铣加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：1.0，深度：0.0，Z 方向预留量：0.3，勾选“Z 轴分层铣深”，设定精修次数：1，精修量：0.2，其余默认，如图 5-27 所示。

2）复制步骤 1），将进给率由 800 改为 400，下刀速率由 400 改为 200，工件表面改为 0.0，深度改为 0.0，不勾选“Z 轴分层铣深”，其余默认。

3）选择“外形铣削（2D）”，加工 118mm×78mm 矩形外形。刀具参数、参考高度和进

给下刀位置等均同步骤 1)，工件表面：0.0，深度：−12.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，勾选“进/退刀向量”“Z 轴分层铣深”，设定 Z 轴最大粗切深度：1.0，勾选“不提刀“，其余默认，如图 5-28 所示。

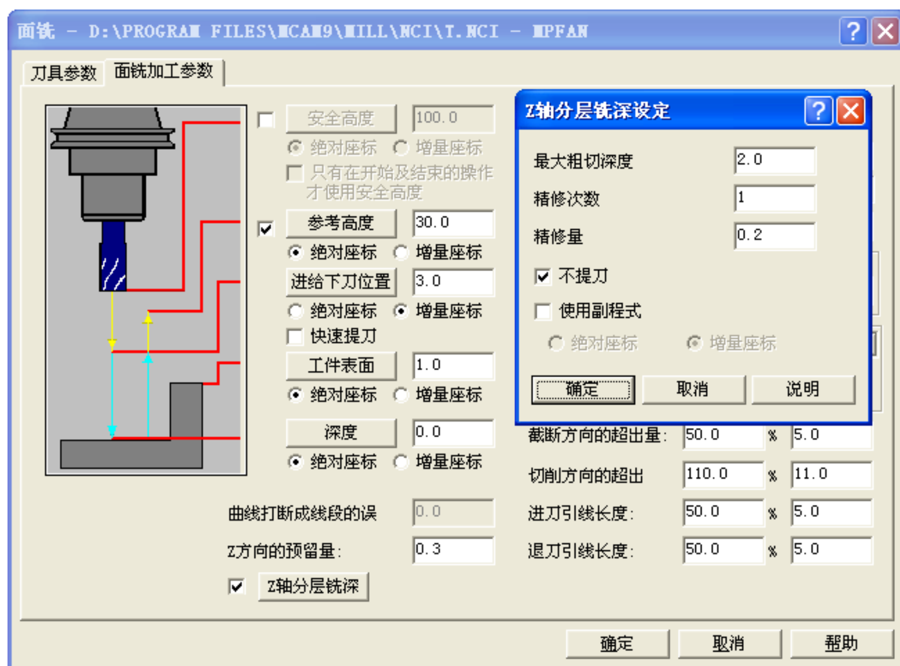


图 5-27　面铣加工参数

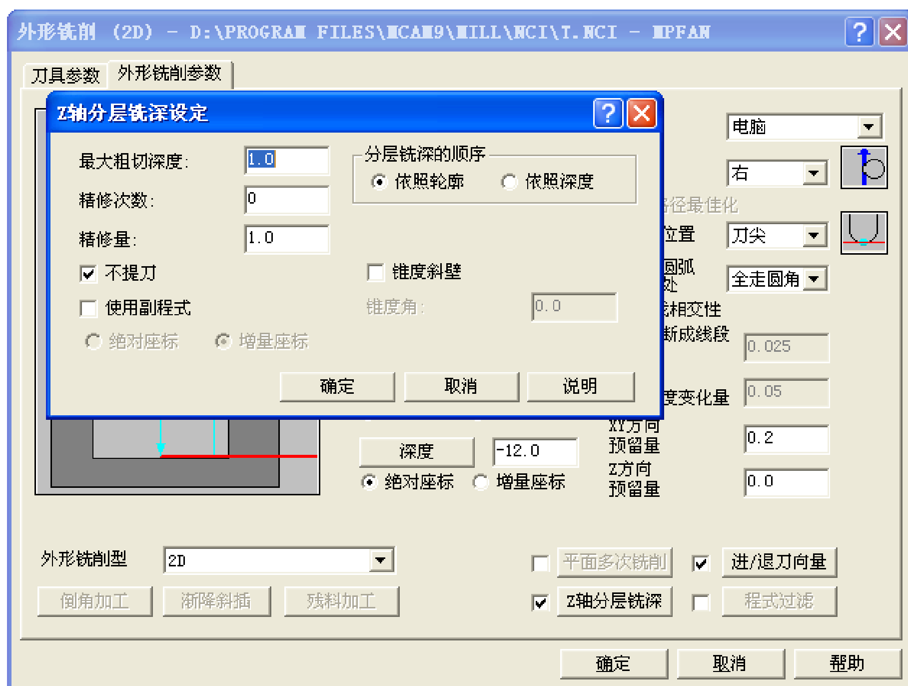


图 5-28　外形铣削参数

4）复制步骤 3），将进给率由 800 改为 400，下刀速率由 400 改为 200，XY 方向预留量改为 0.0，勾选“Z 轴分层铣深”，将最大粗切深度改为 8.0，其余默认。

5）选择“挖槽（一般挖槽）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 1）；图形选择除 118mm×78mm 的矩形以外的图形串联，工件表面：0.0，深度：−3.0，设定 XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：−0.009，以保证尺寸 $3^{+0.018}_{\ 0}$，勾选“分层铣深”，设定 Z 轴最大粗切深度：0.8，精修次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，分层铣深的顺序点选“依照深度”，其余默认，如图 5-29 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中选择“等距环切”，切削间距（直径%）：75.0，勾选“刀具路径最佳化”“由内而外环切”“螺旋式下刀”勾选“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度执行一次精修”，覆盖进给率勾选“进给率”，设定为 400，其余默认，如图 5-30 所示；在“螺旋式下刀”选项卡中输入 Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.2，XY 方向预留量：1.0，进刀角度：1.0，如果螺旋下刀失败，点选“中断程式”，进刀采用的进给率点选“下刀速率”，其余默认，如图 5-31 所示。

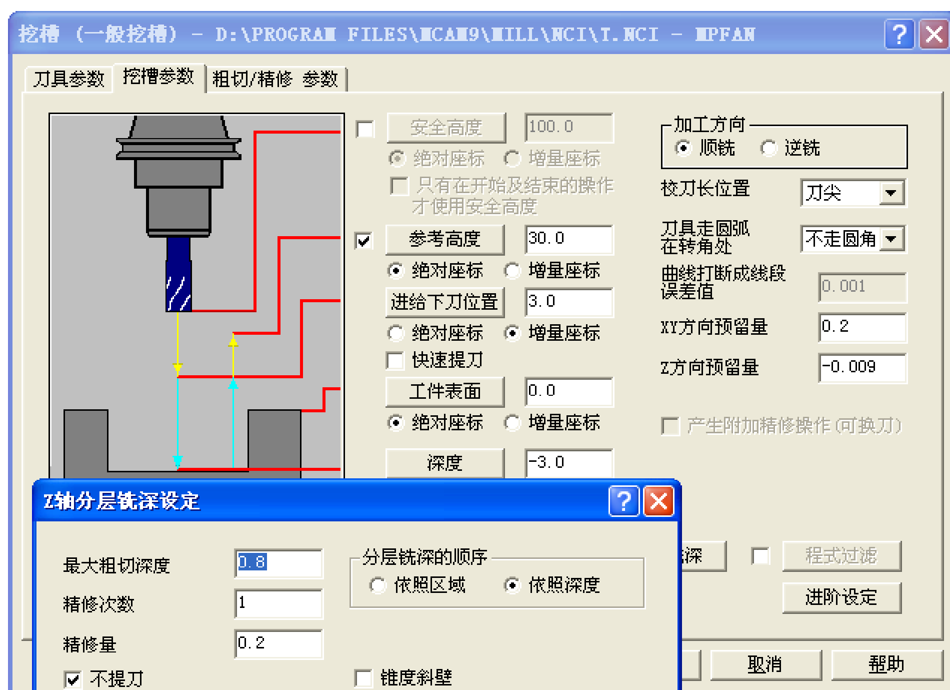


图 5-29　挖槽参数

6）选择“外形铣削（2D）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 4）；工件表面：0.0，深度：−3.0，设定 XY 方向预留量：−0.01，以保证尺寸 $\phi 48^{+0.039}_{\ 0}$，Z 方向预留量：−0.009，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“进/退刀向量”，在“进/退刀向量”对话框中勾选“封闭轮廓由中点位置执行进退刀”，进入和离开均点选“垂直”，长度设定为 0%，圆弧设定为 50%，其余默认。实体切削验证如图 5-32 所示。

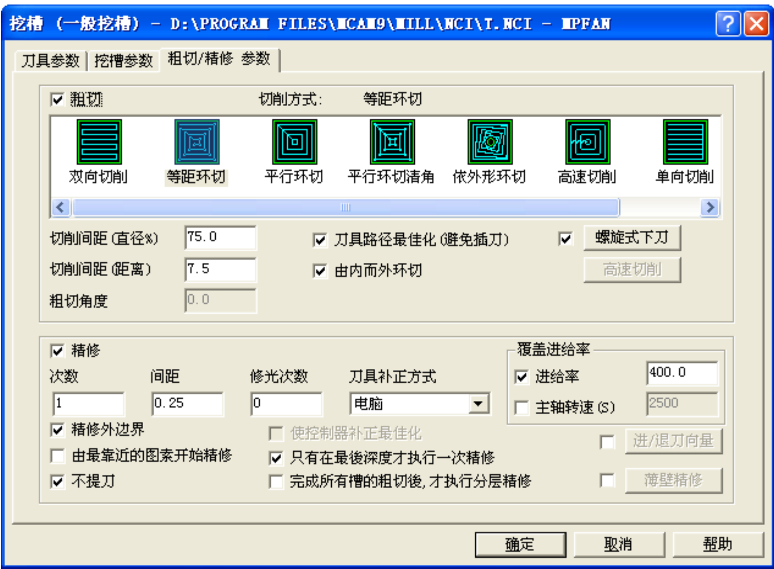


图 5-30 粗切/精修参数

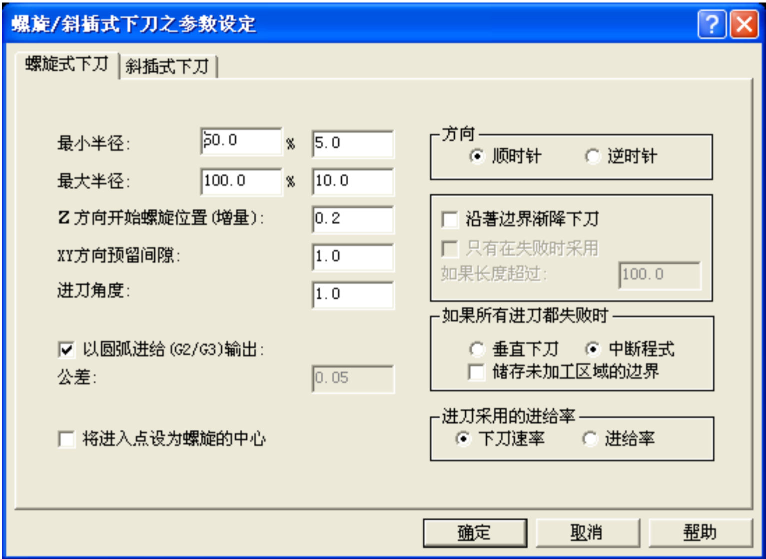


图 5-31 螺旋下刀参数

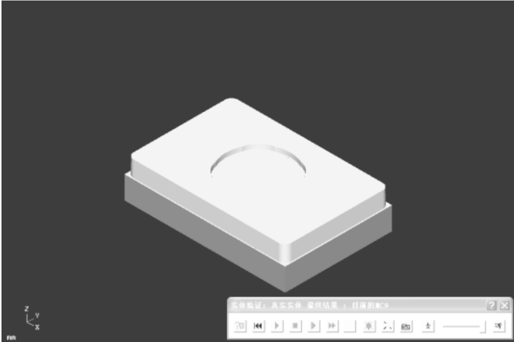


图 5-32 零件 1 反面实体切削验证

5.6 零件 2 的正面 CAD 建模

操作步骤如下：

1）以 Z-28 为作图深度，绘出 118mm×78mm 矩形，在“选项”里勾选“角落倒圆角：开”，设定半径：5.0，以原点为抓点方式。

2）设定新的作图深度 Z-10，分别以 160、140、120、29、16 为直径作圆，圆心点：X34 Y0。

3）以极坐标方式绘出角度为 160°和 200°、长度为 100 的直线，以该直线与圆弧 ϕ140 的交点为圆心作 3 个圆 ϕ10。

4）设定新的作图深度 Z0，以 X34 Y0 为圆心点，作圆 ϕ70、ϕ45。

5）以“平移”方式复制 118mm×78mm 矩形到 Z-10 深度和 Z0 深度处，修剪多余线段，完成以后的图形如图 5-33 所示。

6）将刚才二维图形默认放在第 1 层，设定名称“line”，新建层：2，设定名称“solid”，颜色为“9”（蓝色），将第 2 层设为当前层。

7）单击“实体”“挤出”，选择 118mm×78mm 矩形，方向“上”，距离：18.0；单击“实体”“挤出”，选择由 ϕ160 和 ϕ120 圆生成的半月形图形，方向“上”，距离：5.0，点选“增加凸缘”；选择 ϕ70 的圆与直线生成的图形，方向“下”，距离：10.0，点选“增加凸缘”。

8）单击“实体”“挤出”，选择 ϕ45 的圆，方向“下”，距离：10.0，点选“切割主体”。

9）单击“实体”“挤出”，选择 ϕ29 的圆，方向“上”，距离：5.0，点选“增加凸缘”；选择 ϕ16 的圆、3×ϕ10 的圆，方向“下”，点选“切割主体”“全部贯穿”“两边同时延伸”。

10）选择 ϕ70 圆边界，倒圆角 *R*5。

11）新建层：3，设定名称：“surface”，颜色为“8”（灰色），将第 3 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“由实体产生”，选择刚才所建的实体，产生曲面，并关闭第 2 层。最终建模效果如图 5-34 所示。

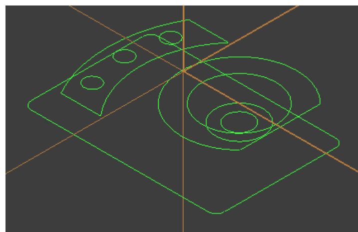


图 5-33　零件 2 的二维建模

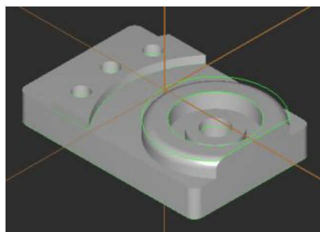


图 5-34　零件 2 的正面 CAD 建模

5.7 零件 2 的正面刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）与零件 1 正面刀路编辑的步骤 1）相同（故省略）。

2）选择“曲面粗加工—挖槽”，从刀库中选择 ϕ10 的平刀，在“刀具参数”选项卡中输

入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，图形选择所有的曲面，切削范围选择 118 mm×78 mm 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.4，刀具的切削范围点选“外”；在“粗加工参数”选项卡中，输入 Z 轴最大进给量：0.8，勾选“由切削范围外下刀”“螺旋式下刀”，如图 5-35 所示；在“螺旋式下刀”对话框中，输入 Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.2，XY 方向预留量：2.0，进刀角度：1.0，如果螺旋下刀失败，点选“中断程式”，进刀采用的进给率点选“下刀速率”，其余默认，如图 5-36 所示；单击粗加工参数的“切削深度”按钮，在“切削深度设定”对话框中，点选“绝对坐标”，设定最高位置：0.5、最低位置：−10，勾选“自动调整加工面的预留量”；在“挖槽参数”选项卡中，选择“等距环切”，设定切削间距为 75%，其余默认，如图 5-37 所示。



图 5-35　曲面挖槽粗加工参数

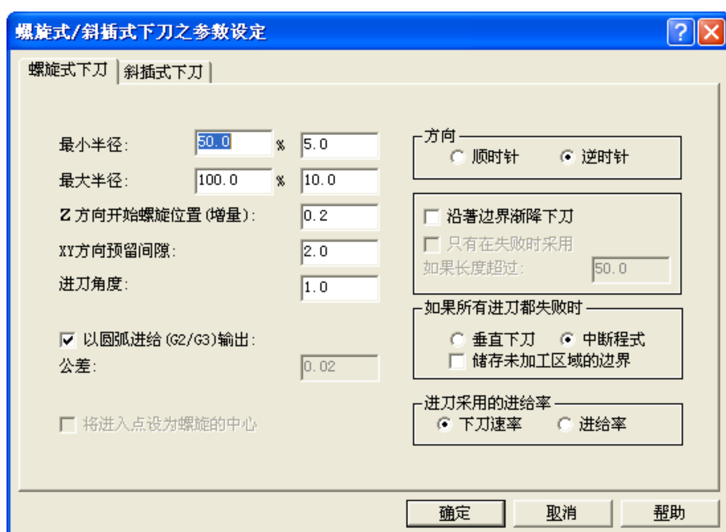


图 5-36　螺旋下刀参数

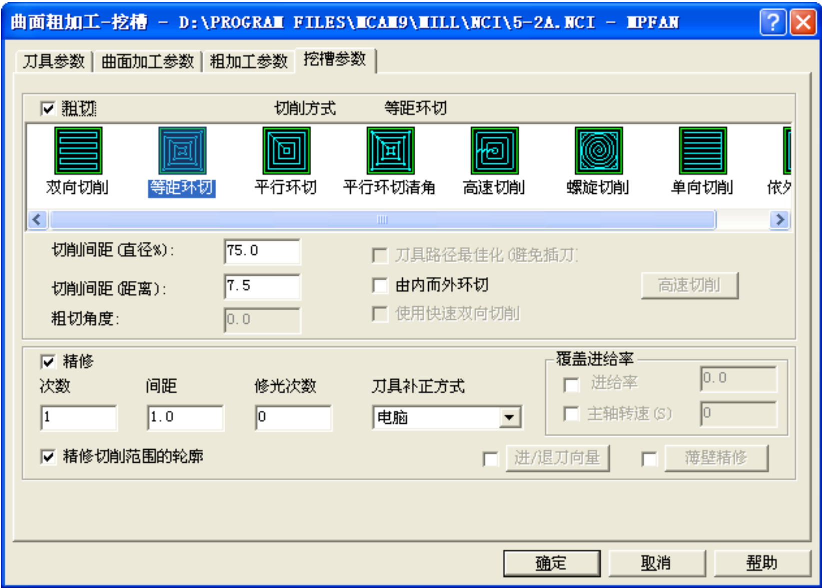


图 5-37　挖槽参数

3）选择“外形铣削（2D）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2），加工 118 mm×78 mm 矩形外形。工件表面：−5.0，深度：−19.0，补正形式：电脑，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0，勾选“Z 轴分层铣深”“进/退刀向量”，参数默认，在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：0.8，勾选“不提刀”，其余默认，如图 5-38 所示。将以上步骤 1）～3）设定为群组 CX-D10。

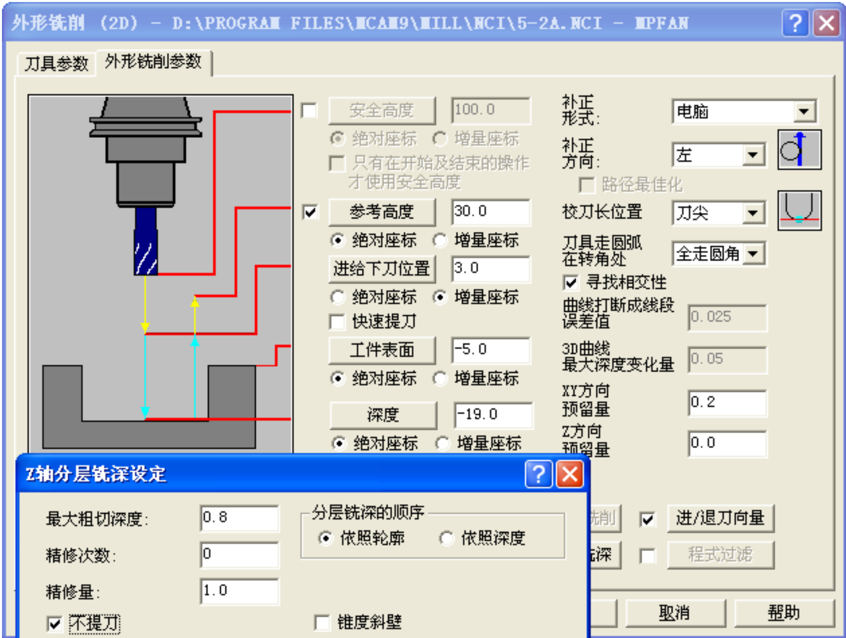


图 5-38　外形铣削参数

4）选择“曲面粗加工—等高外形”，进给率改为 600，下刀速率改为 300，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2）。设定加工的曲面/实体预留量：0.2，干涉的曲面/实体预留量：0.2，不选择切削范围，加工面的选择如图 5-39 左所示，干涉面的选择如图 5-39 右所示；在“等高外形粗加工参数”选项卡，设定 Z 轴最大进给量：0.3，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，开放式轮廓的方向点选“双向”，其余默认，如图 5-40 所示。



图 5-39　加工面与干涉面的选取

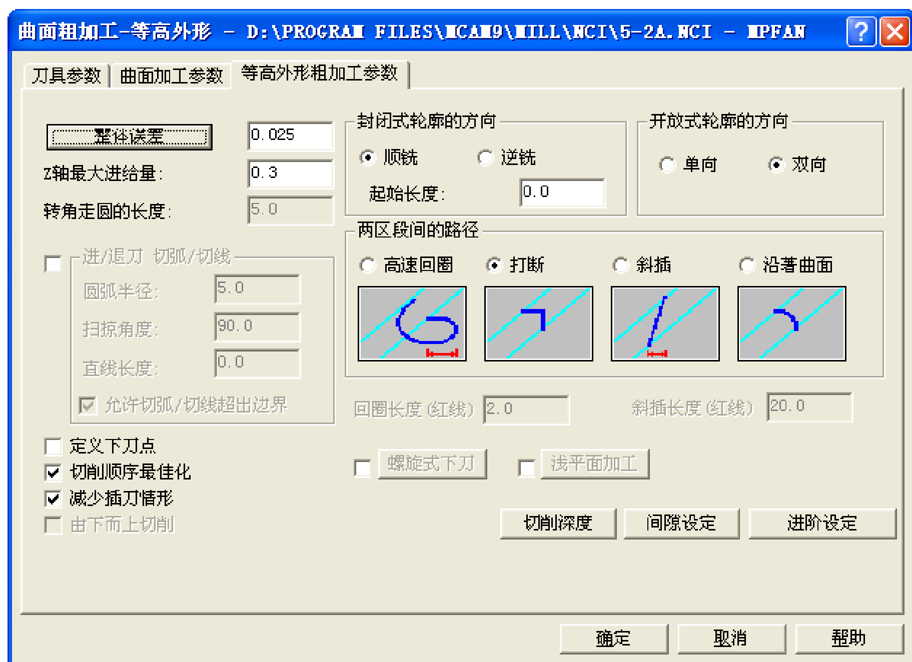


图 5-40　等高外形粗加工参数

5）选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2），图形选择ϕ16 圆。工件表面：−4.5，深度：−30.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，其余默认；在“外形铣削的渐降斜插”对话框中点选“深度”，设定斜插深度：0.5，勾选“在最终深度补平”，其余默认，如图 5-41 所示。将以上步骤 4）、5）设定为群组 BJX-D10。

6）选择“面铣”，精修ϕ70 圆表面，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“面铣参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：1.0，深度：0.0，Z 方向预留量：0.0，其余默认。

7）复制步骤 6），图形选择ϕ160、ϕ120 和两线段生成的封闭半月形面，将工件表面改为−5.0，深度改为−5.0，其余默认。

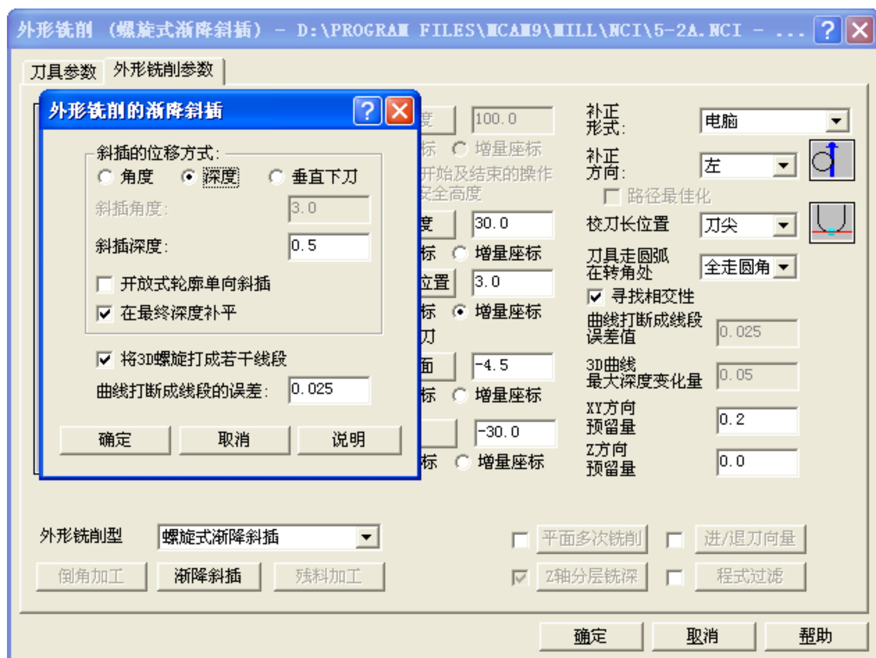


图 5-41　外形铣削（螺旋式渐降斜插）参数

8）选择“外形铣削（2D）”，精修 118mm×78mm 矩形外形，保证尺寸（118±0.018）mm 和（78±0.015）mm。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 6），工件表面：−5.0，深度：−19.0，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“Z 轴分层铣深”“进/退刀向量”“封闭轮廓从中点下刀”，其余默认。在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：10.0，勾选“不提刀”，其余默认。

9）选择“外形铣削（2D）”，图形选择ϕ160 圆弧，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 6），设定工件表面：−9.5、深度：−10.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，XY 方向预留量：−0.015，以保证尺寸 $20^{-0.020}_{-0.041}$，Z 方向预留量改为−0.011，保证尺寸 $10^{+0.022}_{0}$，勾选“平面多次铣削”“Z 轴分层铣深”“进/退刀向量”，其余默认，如图 5-43 所示。在“XY 平面多次铣削”对话框中设定粗铣次数：3、间距：8.0、精修次数：1、间距：0.2，执行精修的时机点选“最后深度”，勾选“不提刀”，其余默认，如图 5-42 左图所示；在“Z 轴分层铣深设定”对话框中设定精修次数：1、间距：0.2，勾选“不提刀”，分层铣深的顺序点选“依照深度”，其余默认，如图 5-42 右图所示；在“进/退刀向量”对话框中，进入、离开都点选“相切”，长度设定为 100%，圆弧设定为 0%，其余默认。

10）复制步骤 9），图形选择ϕ70 圆弧，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，XY 方

向预留量改为−0.023，以保证尺寸 $\phi70_{-0.06}^{-0.03}$，Z 方向预留量改为−0.011，保证尺寸 $10_{0}^{+0.022}$，将“XY 平面多次铣削设定”对话框的粗铣次数改为 2 次，其余参数均默认。

11）复制步骤 9），图形选择 $\phi120$ 圆弧，不勾选“平面多次铣削”，在“进/退刀向量”对话框中将长度改为 200%，其余参数均默认。

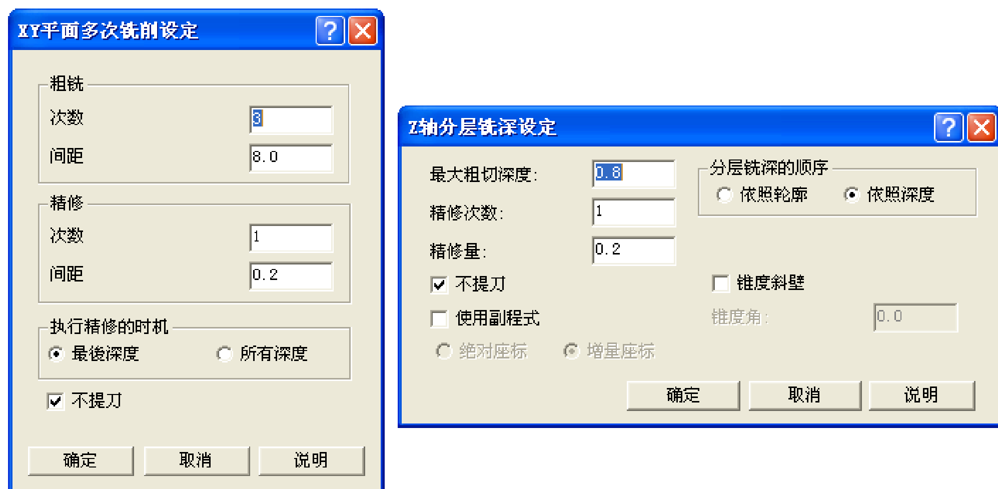


图 5-42　平面多次铣削和 Z 轴分层铣深参数

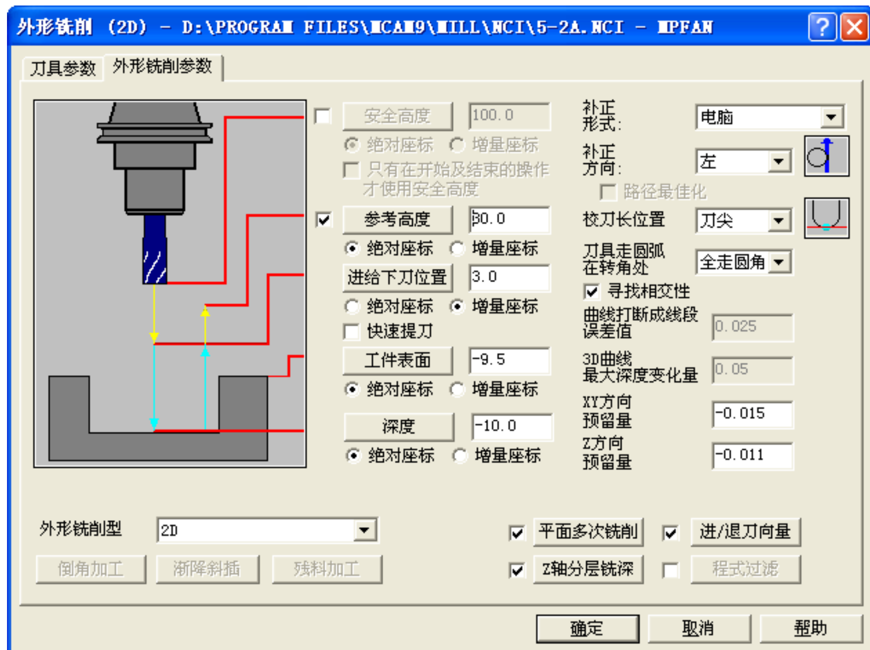


图 5-43　步骤 9）外形铣削参数

12）选择“挖槽（一般挖槽）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 9），图形选择 $\phi45$ 圆，工件表面：−4.5，深度：−5.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：−0.009，

勾选“Z 轴分层铣深”，在“Z 轴分层铣深设定”对话框中设定精修次数：1，间距：0.2，勾选“不提刀”，分层铣深的顺序点选“依照深度”，其余默认，如图 5-44 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中选择“等距环切”，切削间距为 75.0%，勾选“刀具路径最佳化”“螺旋式下刀”“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度才执行一次精修”，其余默认，如图 5-45 所示；在“螺旋式下刀”对话框中输入 Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.2，XY 方向预留量：1.0，进刀角度：3.0，如果螺旋下刀失败，点选“中断程式”，进刀采用的进给率点选“下刀速率”，其余默认。将以上步骤 6）～12）设定为群组 JX-D10。

13）选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，从刀库选择ϕ6 平刀，将刀具号码改为 4，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2），图形选择ϕ45 圆，工件表面：−5.0，深度：−10.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.2，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，在“外形铣削的渐降斜插”对话框中点选“深度”，设定斜插深度：0.4，勾选“在最终深度补平”，其余默认，如图 5-46 所示。

14）复制步骤 13），图形选择ϕ29 圆，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，其余默认，将步骤 13）、14）设定为群组 CX-D6。

15）选择“外形铣削（2D）”，图形选择精修ϕ29 圆，输入进给率：400、下刀速率：100，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 13），在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：−5.0、深度：−10.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，设定 XY 方向预留量：0.015、保证尺寸$\phi 29^{-0.02}_{-0.041}$，Z 方向预留量：−0.011，以保证尺寸$10^{+0.022}_{0}$，勾选“进/退刀向量”，设定进入/离开，点选“垂直”，长度设定为 1.0，圆弧设定为 0%，其余默认，如图 5-47 所示。

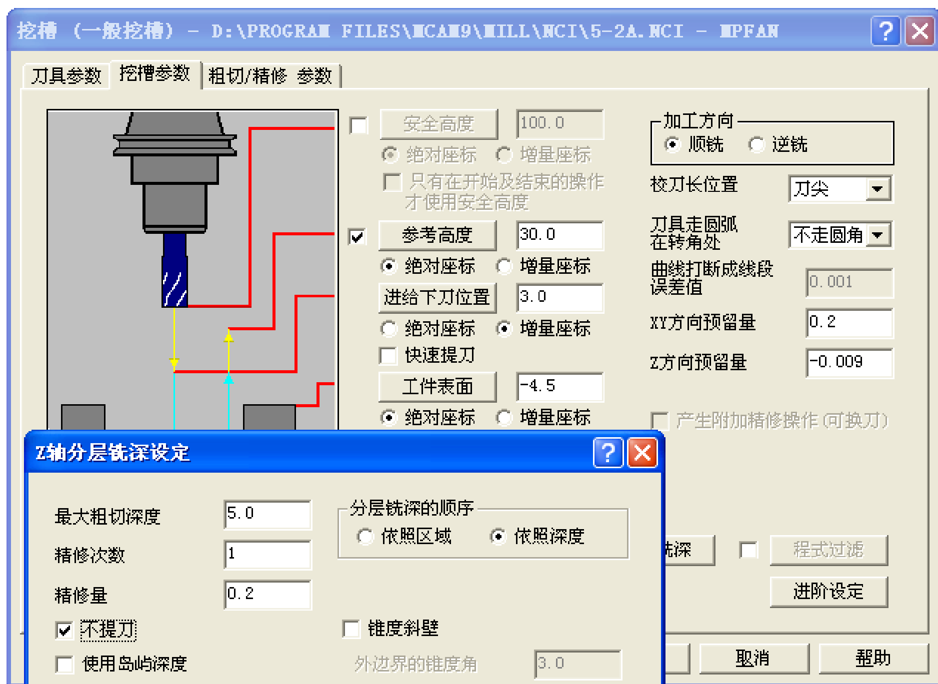


图 5-44　挖槽加工参数

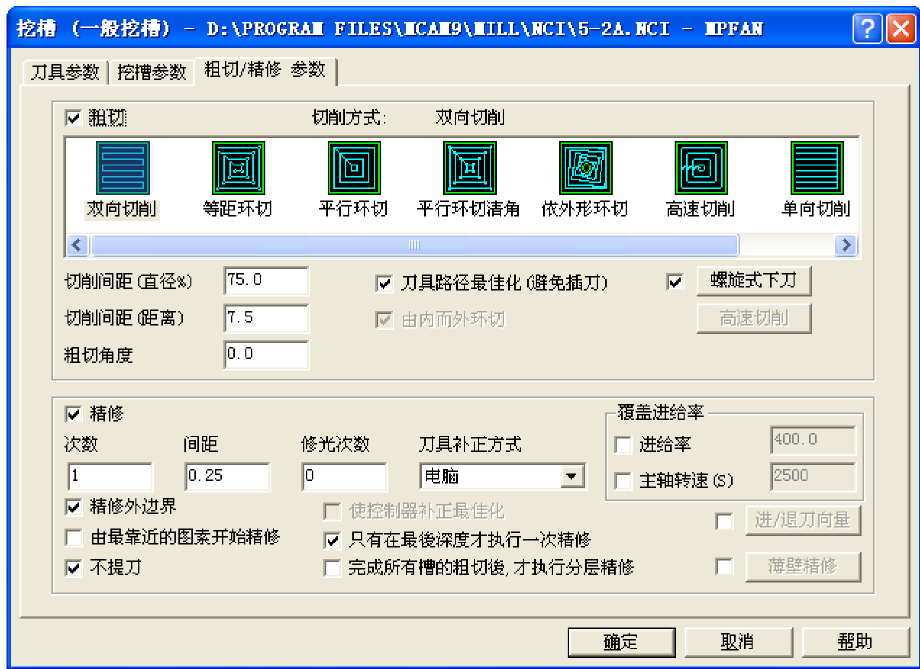


图 5-45　粗切/精修参数

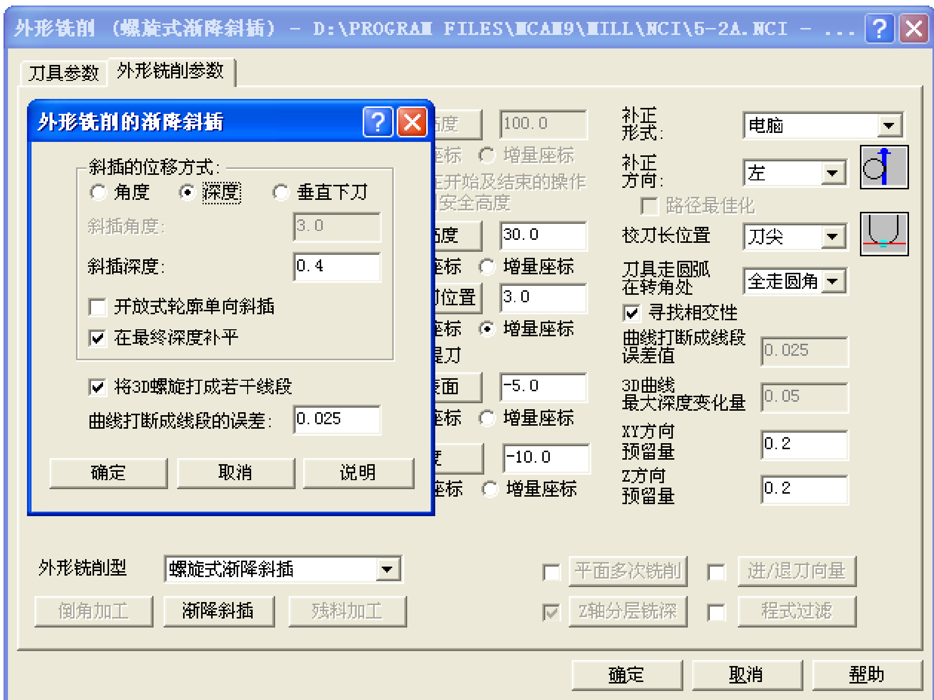


图 5-46　外形铣削（螺旋式渐降斜插）参数

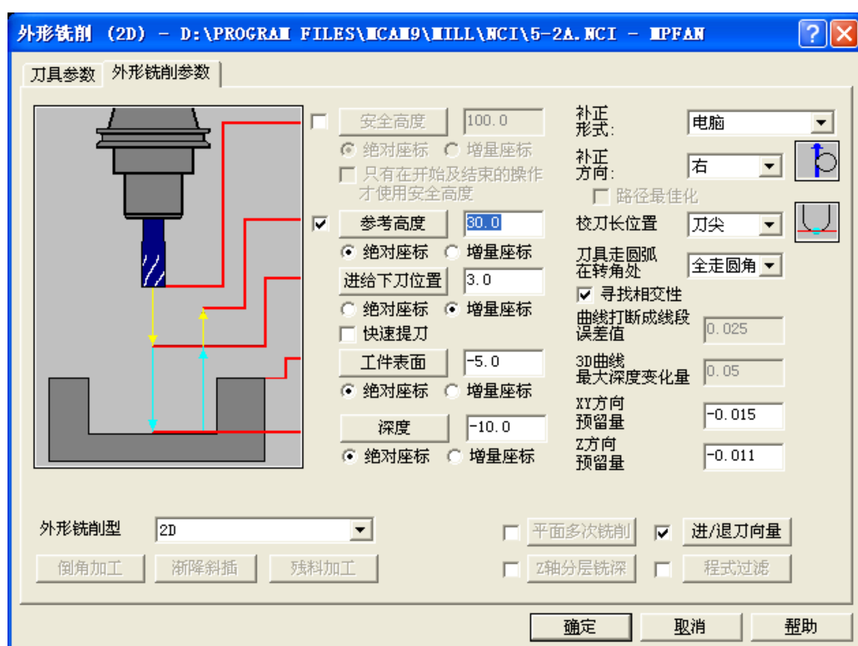


图 5-47　外形铣削参数

16）复制步骤 15），图形选择精修 $\phi45$ 圆，将工件表面改为 0.0，补正方向改为“右”，设定 XY 方向预留量：−0.01，保证尺寸 $\phi45^{+0.039}_{0}$，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度：6.0，勾选“不提刀”，其余默认。

17）选择“外形铣削（2D）”，精修 $\phi16$ 圆，输入进给率：400、下刀速率：200，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 16），在“外形铣削参数”选项卡中设定工件表面：−5.0、深度：−30.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，设定 XY 方向预留量：−0.007，保证尺寸 $\phi16^{+0.027}_{0}$，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度：10.0，勾选“不提刀”“进/退刀向量”，设定进入/离开，点选“垂直”，长度设定为 83.33%：5.0，圆弧设定为 0%，其余默认，如图 5-48 所示。

18）复制步骤 17），图形选择精修 3×$\phi10$ 圆，将 XY 方向预留量改为−0.005、保证尺寸 $\phi10^{+0.022}_{0}$，在“进/退刀向量”对话框中将长度改为 33.333%：2.0，其余各参数均默认。将以上步骤 15）～18）设定为群组 JX-D6。

19）新建群组 JX-D6R3，选择“曲面精加工—曲面流线”，从刀库中选择 $\phi6R3$ 球刀，将刀具号码改为 3，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：3000，冷却液：喷油。在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，设定加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留量：0.0，加工面和干涉面的选取与步骤 4）相同；在“曲面流线精加工参数”选项卡中，单击“整体误差”按钮，选择过滤的比率为 1:1，设定整体的误差为 0.02，其余默认，截断方向的控制点选“距离”，设定为 0.2，如图 5-49 所示；单击“间隙设定”，设定容许的间隙，点选“距离”，设定为 3.6。实体切削验证如图 5-50 所示。

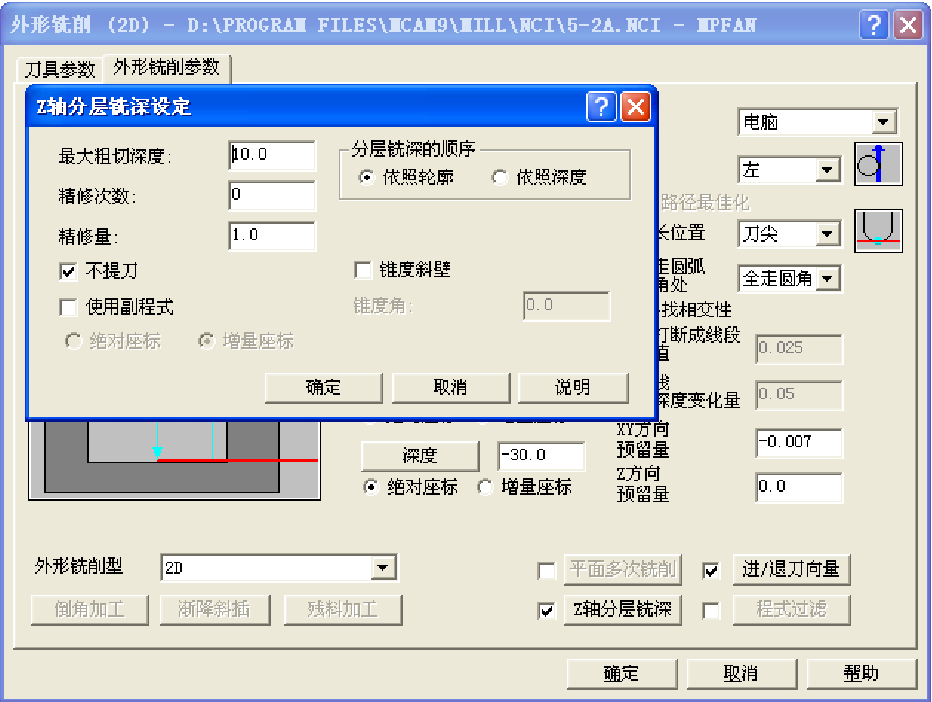


图 5-48 外形铣削参数

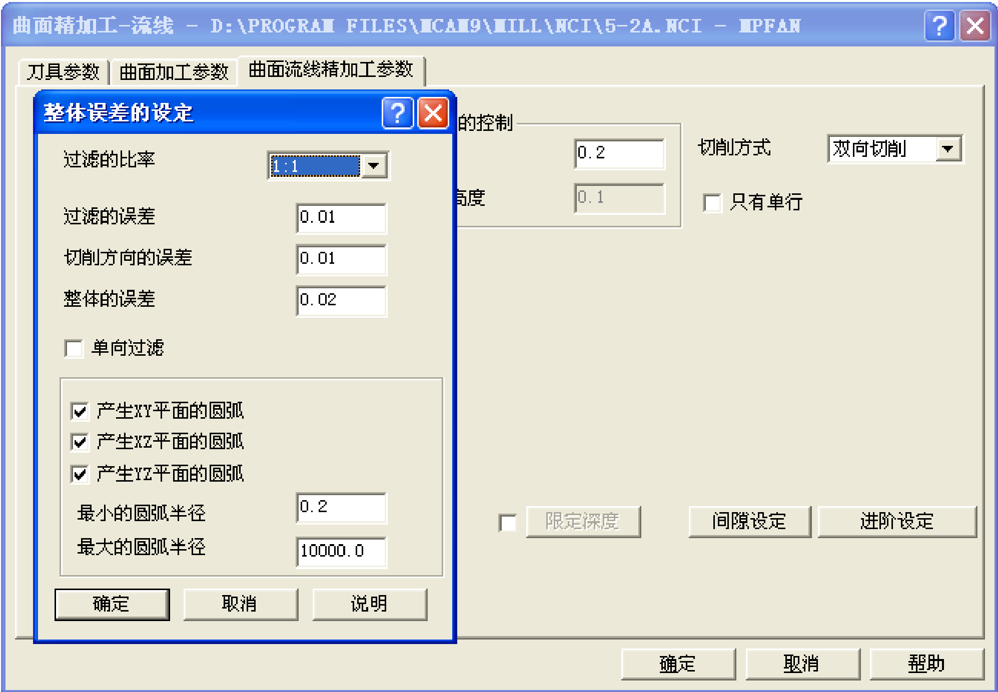


图 5-49 曲面流线精加工参数

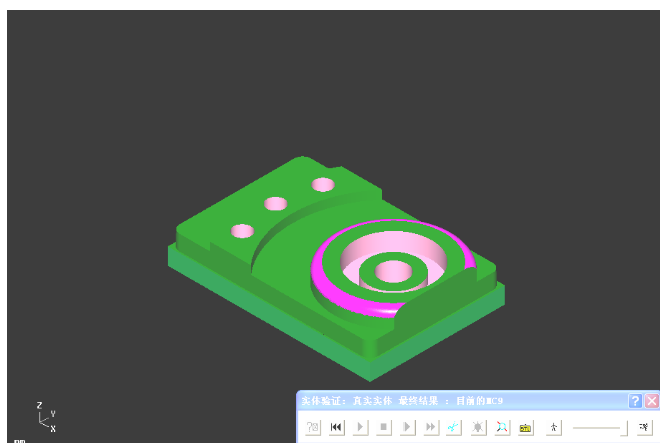


图 5-50　零件 2 正面实体切削验证



注：

在步骤 15）、16）中，由于空间较窄，斜插或螺旋下刀均无法实现，孔的精修操作在深度方向上选择的是用键槽铣刀的“垂直下刀”，进给率设为 100。刀具的编号一定要与零件 1 一致，以提高效率。

5.8　零件 2 的反面 CAD 建模

零件 2 的反面图形较为简单，只需二维线框建模即可。

操作步骤如下：

1）以 Z0 为作图深度，绘出 118mm×78mm 矩形，在“选项”里勾选“角落倒圆角：开”，设定半径：5.0，以原点为抓点方式。

2）以原点为圆心绘制 ϕ44 和 ϕ24 圆，作两圆的外公切线，修剪多余线段。

3）以 Z10 为作图深度，以复制方式串联补正 118mm×78mm 矩形，补正方向：左，距离：6.0，同样以复制方式串联补正步骤 2）的图形，距离：2.0。

4）作垂线 X11，修剪各处，完成后的图形如图 5-51 所示。

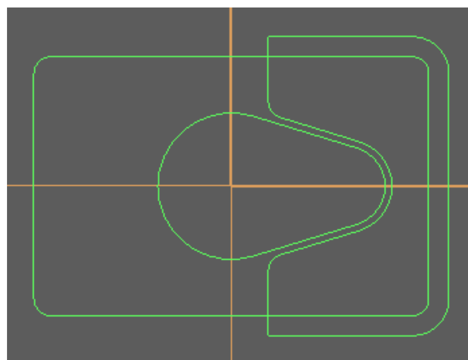


图 5-51　零件 2 的反面 CAD 建模

5.9　零件 2 的反面刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）选择“面铣”，从刀库中选择 ϕ10 平刀，将刀具编号改为 2，以便与正面加工的刀号对应，加工 118mm×78mm 矩形上表面。在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“面铣加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：1.0，深度：0.0，Z 方向预留量：0.3，勾选“Z 轴分层铣深”，设定精修次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，其余默认，如图 5-52 所示。

2）复制步骤 1)，将进给率由 800 改为 400，下刀速率由 400 改为 200，工件表面改为 0.0，深度改为 0.0，不勾选“Z 轴分层铣深”，其余默认。

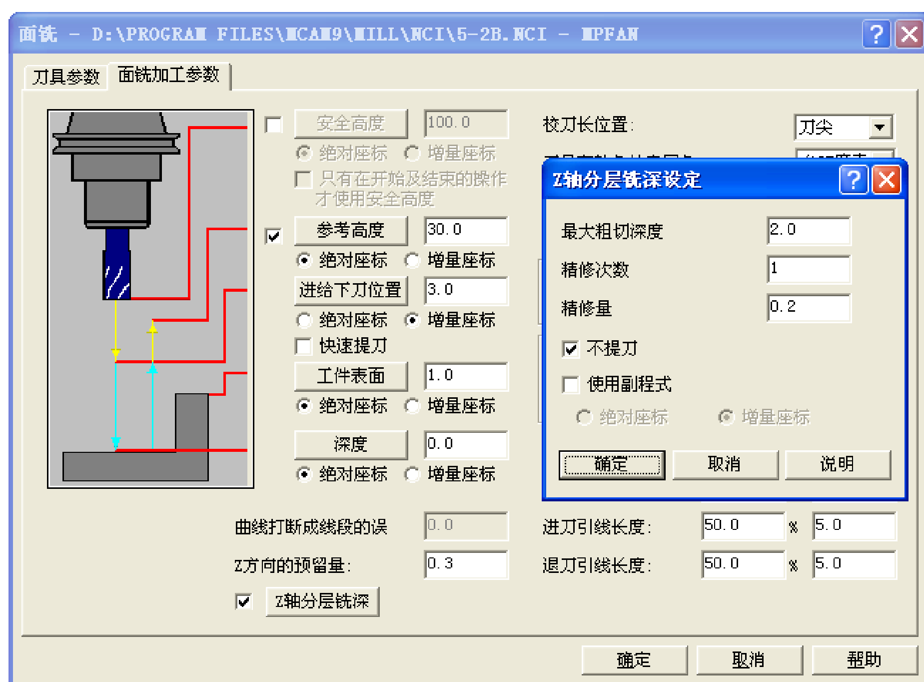


图 5-52　面铣参数

3）选择“外形铣削（2D）”，加工 118mm×78mm 矩形外形，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1)，工件表面：0.0，深度：−12.0，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，勾选“进/退刀向量”“Z 轴分层铣深”，设定 Z 轴最大粗切深度：0.8，勾选“不提刀“，其余默认，如图 5-53 所示。

4）复制步骤 3)，将进给率由 800 改为 400，下刀速率由 400 改为 200，XY 方向预留量改为 0.0，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度为 6.0，勾选“不提刀”，其余默认。

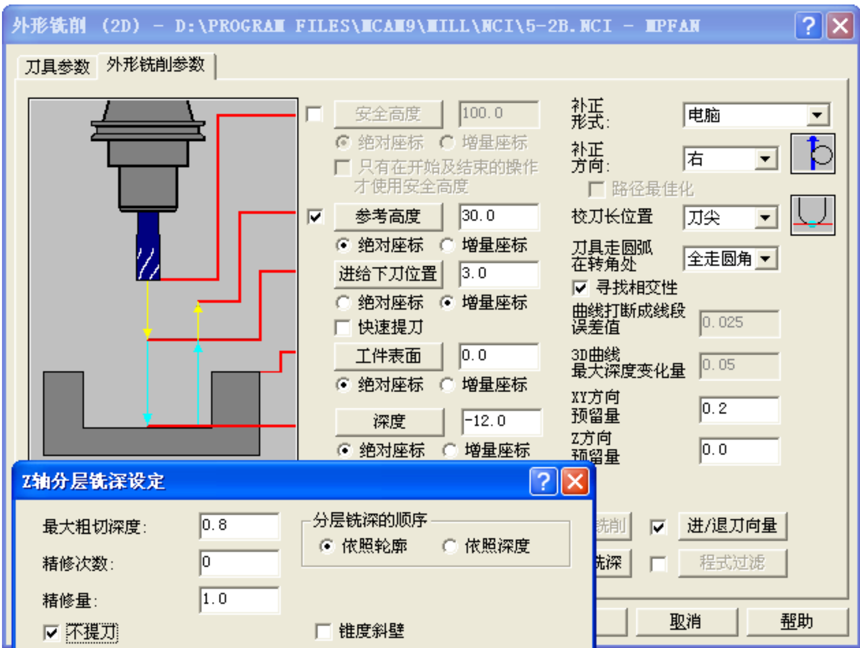


图 5-53　外形铣削参数

5）选择“挖槽（一般挖槽）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置均同步骤 1），图形选择图 5-54 左图所示，工件表面：0.0，深度：−5.0，设定 XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：−0.009，以保证尺寸 $5^{+0.018}_{0}$，勾选“分层铣深”，设定 Z 轴最大粗切深度：0.8，精修次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，分层铣深顺序点选“依照深度”，其余默认，如图 5-55 所示；在“粗切/精修 参数”选项卡中选择“等距环切”，切削间距为 75.0%，勾选“刀具路径最佳化”“螺旋式下刀”“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度执行一次精修”，覆盖进给率勾选“进给率”，设定为 400，其余默认；在“螺旋式下刀”对话框中输入 Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.2，XY 方向预留量：1.0，进刀角度：0.5，如果螺旋下刀失败，点选“中断程式”，进刀采用的进给率点选“下刀速率”，其余默认。

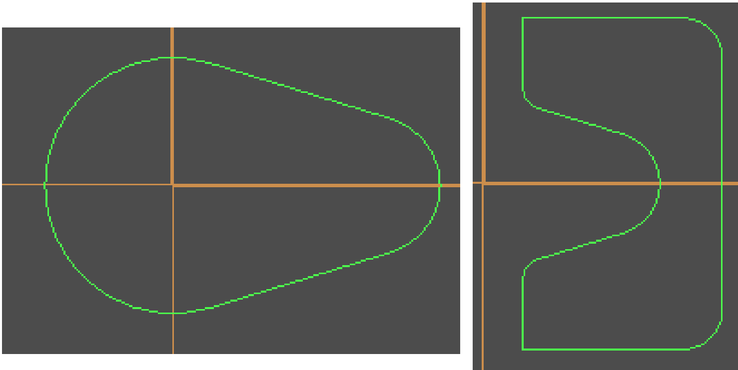


图 5-54　图形选择

6）选择“外形铣削（2D）”，精修步骤 5）图形，将进给率由 800 改为 400，下刀速率

由 400 改为 200，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 5），工件表面：−4.7，深度：−5.0，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：−0.009，补正形式选择“电脑”，补正方向：左，勾选“进/退刀向量”，设定进入/离开，点选“相切”，长度 0%：0.0，圆弧 100%：10.0，其余默认。

7）复制步骤 5），将图形改为图 5-54 右图所示，其余默认。

8）复制步骤 6），以“部分串联”的方式选择图 5-54 右图所示的需要加工的轮廓部分，其余默认。实体切削验证如图 5-56 所示。

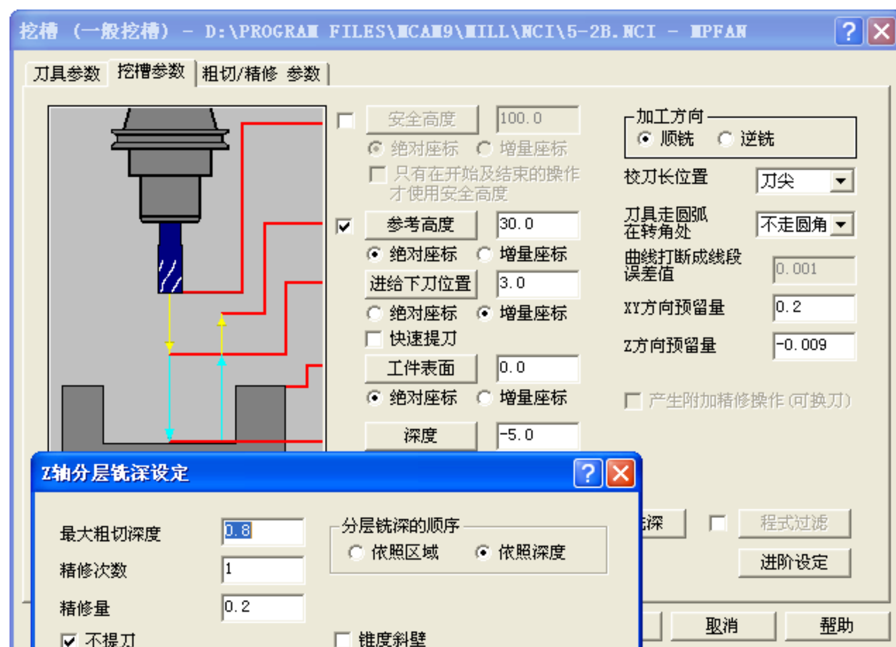


图 5-55　挖槽参数

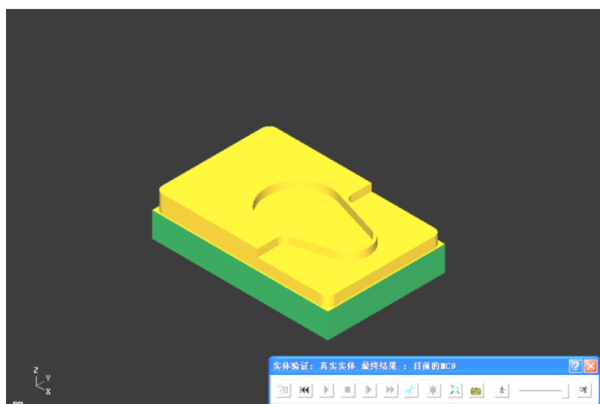


图 5-56　零件 2 反面实体切削验证



注：

从零件 1 和 2 正面刀具路径编辑中可以看出，主要采用电脑补正的方法通过控制预留量来保证零件公差要求，在具体的计算上，遵循第 3 章 3.5 节的式（3-3）～式（3-5）。

先将非对称公差化为对称公差，例如：零件 1 的正面刀具路径编辑的步骤 13)，保证尺寸 $\phi45_{-0.05}^{-0.025}$，将 $\phi45_{-0.05}^{-0.025}$ 化为 ϕ44.96±25 0.，在余量 $\Delta_{XY}=0.2$ mm 情况下，理论上 $L_{XYP}=45.4$ mm，$L_{XY}=44.9625$ mm，$L_{XYP}>L_{XY}$，适用第 3 章 3.5 节的式（3-4）：$B_{XY}=(L_{XY}-L_{XYP})/2+\Delta_{XY}$，计算可得 $B_{XY}=-0.01875$ mm，这里取值–0.018mm。

值得注意的是，这里的 L_{XYP} 采用的不是实际测量值，而是理论状态下的值，也就是说，实际的精修余量 B_{XY} 通过测量和计算得到，是在–0.018mm 的基础上微量的增减。

5.10 FANUC 0i-MC 加工中心常见问题及处理

与 SIEMENS 系统一样，在利用 FANUC 加工中心加工的过程中，也经常会出现一些异常情况，最常见的就是“断刀”，处理方法与第 3 章基本一样，所不同的是换刀和对刀可以以刀库中的除断刀以外的任一把刀作为基准刀来重新对刀，重新写入断刀的刀具补偿值。以第 4 章加工实例为例，假设加工过程中第 3 把刀断刀，具体换刀步骤如下：

1）停机，取下断刀，重新找一把同样规格型号的刀具装刀。

2）以第 1 把刀为基准，在 MDI 方式下输入 T1 M6，装入第 1 把刀，此时 G54 的 Z=0，H1=−351.241，用手轮方式将 Z 轴摇到机床坐标系 Z=−351.241，可以认定此时即在工件对刀表面上，在 POS 界面，输入 Z，按下软键“归零”，让此时 Z 的相对坐标值 Z=0。

3）以机床工作台或平口钳的钳口为基准，以刀杆或 Z 轴设定器过渡，测量出工件对刀表面到机床工作台或者平口钳钳口的距离 *h*。*h* 可以直接从 Z 的相对坐标值读出，然后取绝对值。*h* 在整个加工过程中是一个固定值，并不随加工表面的铣削和刀具的长短而改变，比如此时 *h*=20.587（可参考 2.4.3 节）。

4）在 MDI 方式下输入 T3 M6，换上新装的第 3 把刀。

5）以机床工作台或者平口钳的钳口为基准，以步骤 3）同样的刀杆或 Z 轴设定器过渡，用手轮方式将 Z 轴摇到机床工作台或平口钳的钳口处，然后向上移动 *h*，此处即为工件的对刀表面。记下此时的 Z 轴机床坐标系的值，比如 Z=−382.653，在 OFS/SET 界面，切换到参数设置界面，将光标移动到 3#刀具补偿量处，输入−382.653 即可。比较原来的 H3=−384.371，可以明显地发现两次装刀的高度不同。


注：

这种方法的特点在于以第 1 把刀作为基准。从理论上来讲，调用任何一把刀都可以作为基准，目的只是找到工件的对刀表面。实际上，即使同一把刀经过两三次换刀以后，所检测到的刀具补偿量也会有微量的差异，根据机床的精度，一般在 0.005mm 左右。

此外，FANUC 加工中心由于程序较大，一般都采用 DNC 方式加工，出现“停机”“通信中断”“断刀”情况时，必须通过修改程序的方法来处理，处理方法与第 3 章完全相同。

5.11 FANUC 0i-MC 加工中心加工精度分析

一般来讲，数控机床的加工精度取决于机床的精度、刀具和加工工艺。机床的加工精度主要有几何精度、定位精度和工作精度 3 个方面。几何精度包括机床部件自身精度、部

件间相互位置精度等，主要指标有平面度、垂直度和主轴轴向、径向圆跳动等；定位精度包括定位精度、重复定位精度和反向偏差等，以环境温度在 15～25℃之间、无负荷空转试验来检验；工作精度是指机床的综合精度，受机床几何精度、刚度、温度的影响，加工中心工作精度见表 5-1。由于加工中心刚性较铣床好，同样精度等级加工中心的加工精度一般高于数控铣床。

表 5-1　加工中心精度

序　　号	检 测 内 容		允许误差 / mm
1	镗孔精度	圆度	0.01
		圆柱度	0.01/100
2	面铣刀铣平面精度	平面度	0.01
		阶梯差	0.01
3	面铣刀铣侧面精度	垂直度	0.02/300
		平行度	0.02/300
4	镗孔孔距精度	X 轴方向	0.02
		Y 轴方向	0.02
		对角线方向	0.03
		孔径偏差	0.01
5	立铣刀铣削四周面精度	直线度	0.01/300
		平行度	0.02/300
		厚度差	0.03
		垂直度	0.02/300
6	两轴联动铣削直线精度	直线度	0.015/300
		平行度	0.03/300
		垂直度	0.03/300
7	立铣刀铣削圆弧精度	圆度	0.02

注：摘自韩鸿鸾、张秀玲编著《数控加工技师手册》，机械工业出版社。

在机床精度达到要求的基础上，零件的加工精度取决于刀具和加工工艺。刀具的制造误差和加工过程中的磨损、加工工艺中切削三要素（主轴转速、进给量、背吃刀量）是否合理、加工工艺是否合理、切削过程中由于切削力和切削温度的升高引起系统的变形等，都是影响加工精度的重要因素。

对于机床操作人员来说，机床的精度是无法控制的，从出厂时就已经确定了，唯一可做的就是采购部门把好机床验收的环节，出具合格的机床验收报告。

机床操作人员能够做的只是合理地选择刀具、编制尽量合理的加工工艺，来保证零件的精度。从工艺角度来讲，每个人都有自己的想法和思路，一般的工艺原则也大都能够遵守，工艺水平的高低可以通过编制的 Mastercam 刀具路径看出来，需要通过大量的实践经验才能够逐步完善和提高。

本 章 小 结

本章是第 4 章的巩固和延伸，从单个的零件加工发展为两个需要装配的零件加工，而且要保证配合要求。

本章的特点在于零件尺寸的标注。本章零件尺寸的标注是按照 GB/T 1800～1804 的公差要求进行的。从零件图样设计的层面来看，很多数控加工的图样尺寸公差实际上都尽量简化了，除了配合尺寸必需的基本偏差外，大多数尺寸的公差都设定为 ±0.02、$^{0}_{-0.04}$、$^{+0.04}_{0}$ 等。这样对预留量的补偿是有利的，至少不会过于繁琐。

零件的加工精度除了受设计、工艺水平的影响外，数控机床本身的精度也是一个重要因素。机床本身具有高的精度，才能够加工出高质量的零件。

第 6 章　典型曲面零件的加工

6.1　典型曲面零件的 CAD 建模

典型曲面零件的 CAD 建模一般有两种方法：一种是传统的正向设计方法，在读懂零件图样尺寸和技术要求的基础上，用常见的 CAD 软件，如 Pro/E、UG 等绘出零件的二维和三维模型。该方法的难点在于自由曲面的建模，根据零件图样的难易程度，建模过程的复杂程度也不同。第二种方法是采用反求工程的方法，根据已经存在的产品模型来反向推出产品设计数据。它的关键技术包括实物表面的数据获取和 CAD 模型的重建，通过三坐标测量机或激光扫描仪等测量装置获取零件原型表面点三维坐标数据，然后在 CAD 软件中构造原型的模型。该方法的难点在于，大量点的数据处理和曲面建模。

➘　例 6-1：奥运福娃的反求设计

步骤一　奥运福娃的抄数过程

首先将奥运福娃的实物原型表面均匀地喷涂上一层反光粉，晾干，如图 6-1 所示。以 SEREIN 600 型三维激光扫描仪为测量设备，选择合适的装夹定位方式。



图 6-1　福娃模型

根据福娃实物模型的特点，足底可以直接站立，因此选择在足底部分涂以少量 502 胶水，将其固定粘接在垫块上。将垫块平放在扫描仪的工作台上，在福娃的背后也放置一个垫块，所有垫块在扫描面均需喷涂反光粉来加强背景的衬托。

根据福娃的形状特点，最大特征面就是正面，因此采用平面扫描法进行扫描，不需要用旋转扫描法进行数据的拼接。将步距设为 0.5mm，选择合适的扫描起点和终点坐标，开始扫描。扫描完成后以 fuwa.asc 文件格式保存。

步骤二　奥运福娃的建模过程

将 fuwa.asc 文件用反求软件 Imageware 12.0 打开，如图 6-2 所示，既可以在 Imageware 中建模，也可以另存为 iges 格式文件，在 Pro/E 或 UG 中建模。无论在哪个软件中建模，其过程都较为复杂，需要反复比较、修改后才能定型。完成后删除所有点，保留所有曲面，

保存为 fuwa.igs 文件，该文件能够被 Mastercam 读入。

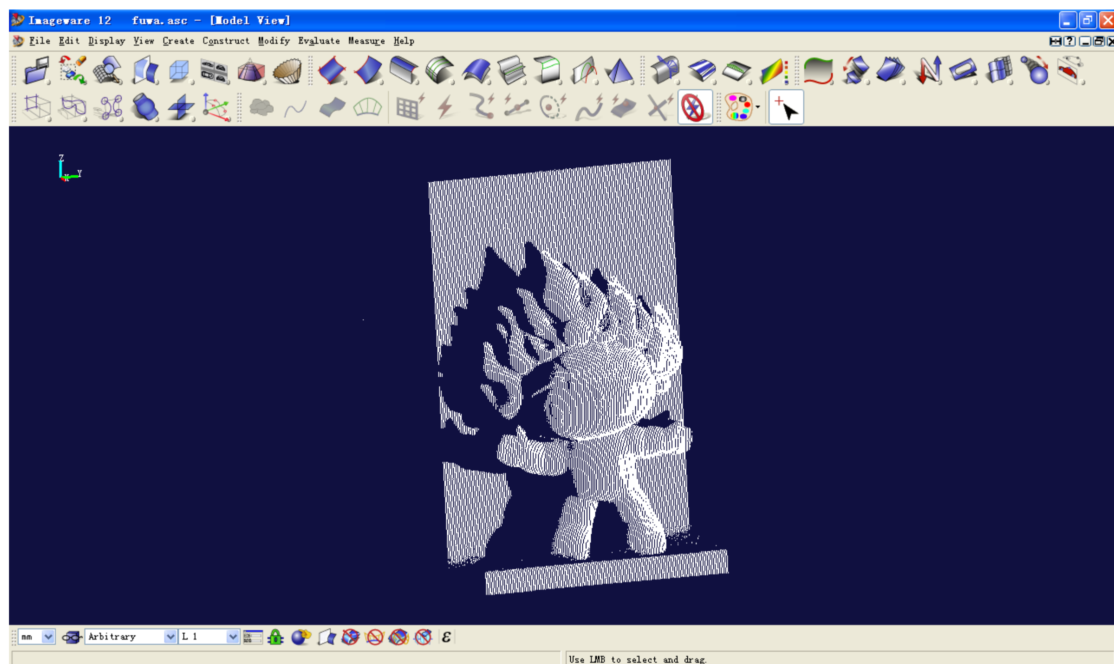


图 6-2 福娃抄数后的点云数据

6.2 典型曲面零件的工艺分析

对于大多数曲面零件来讲，数控铣削加工有一定的规律可循，大致分为 4 步：

1）粗加工曲面挖槽，留余量 0.3～0.5mm。

2）半精加工等高轮廓，留余量 0.1～0.2mm。

3）曲面精加工平行铣或 3D 环绕等距，余量为 0。

4）曲面挖槽铣底平面到位，余量为 0。

在此基础上增加一些局部的加工，来保证余量的均匀。

6.3 典型曲面零件的刀具路径编辑

例 6-2：米老鼠的刀具路径编辑

典型曲面零件——米老鼠的 CAD 模型如图 6-3 所示。在开始加工之前，需要作一些必要的定位处理，以方便加工。操作步骤如下：

1）在“工作设定”菜单条里，单击“边界盒”，弹出“绘制边界盒”对话框，不勾选“中心点”，其余默认，单击“确定”，产生整个图素的边界，如图 6-4 所示。

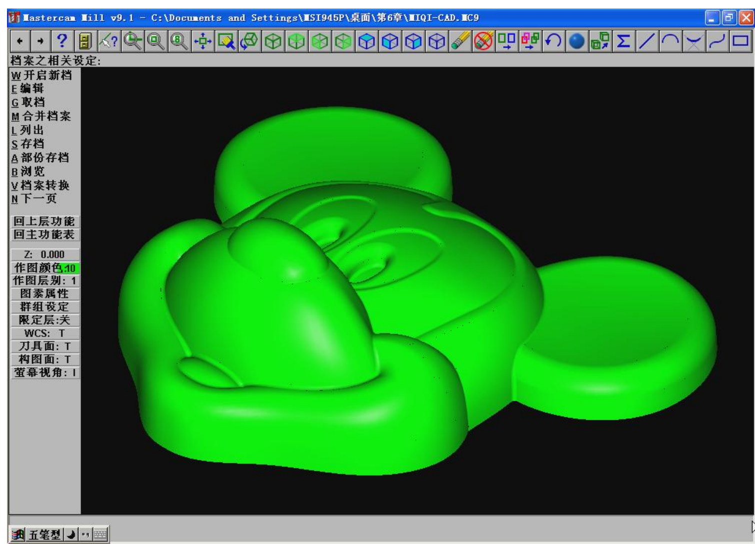


图 6-3　米老鼠 CAD 模型

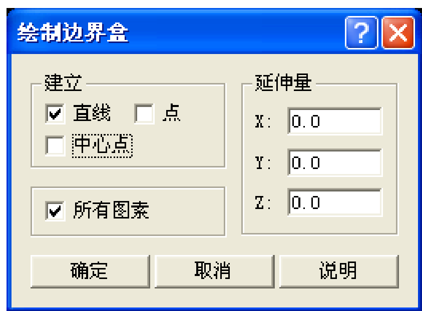


图 6-4　“绘制边界盒”对话框

2）将构图面设定为“空间绘图”，以上表面对角两点画线，选择所有的图素，以两点之间移动的方式从该对角线的中点至原点平移，如图 6-5 所示。

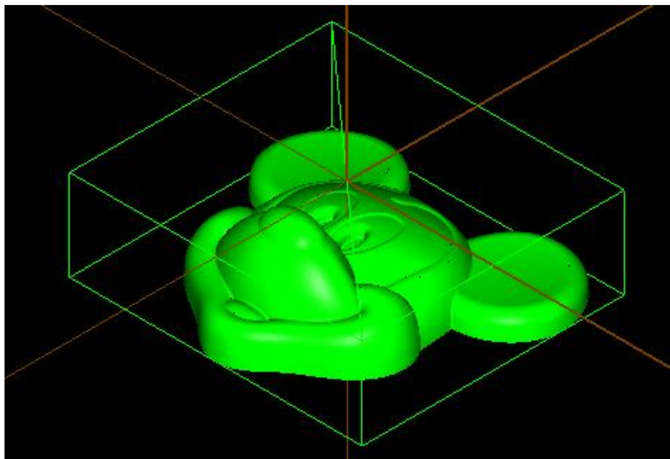


图 6-5　图形定位

3）新建第 2 层，名称为“solid”，设定新的作图深度，深度设定采用抓点方式，抓取边界盒底面直线的端点，此时 Z=–24.028，然后删除所有直线。将构图面设定为“俯视图”，绘制矩形 100mm×80mm，向下挤出高度为 10mm 的长方体。

4）改为第 1 层，选择“由实体产生曲面”，选择该长方体，产生曲面，并关闭第 2 层，最终 CAD 模型如图 6-6 所示。

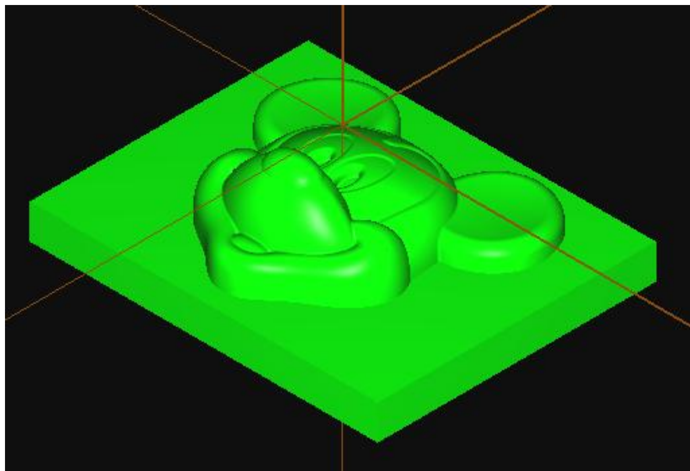


图 6-6 最终 CAD 模型

刀具路径编辑的操作步骤如下：

1）选择“曲面粗加工—挖槽”，从刀库中选择 ϕ16 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2000，冷却液：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中，图形选择所有的曲面，输入加工的曲面/实体预留量：0.5，切削范围选择 100mm×80mm 矩形，刀具的切削范围点选“外”，输入参考高度：30.0、进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，如图 6-7 所示；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.6，勾选“由切削范围外下刀”；单击“粗加工参数”的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：0.0，用抓点方式选择最低位置：–24.02822，勾选“自动调整加工面的预留量”，如图 6-8 所示；在“挖槽参数”选项卡中选择“等距环切”，输入切削间距（直径%）：75.0，其余默认。

2）选择“曲面粗加工—等高外形”，从刀库中选择 ϕ8 平刀，将进给率设定为 600，下刀速率设定为 300，主轴转速设定为 2500，冷却液：喷油，其余参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1）；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0.15；在“等高外形粗参数”选项卡中设定 Z 轴最大进给量：0.2，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，单击““切削深度”，切削深度参数同步骤 1），其余默认。

3）选择“曲面粗加工—挖槽”，仍然选择 ϕ8 平刀，将进给率设定为 400，下刀速率设定为 200，主轴转速设定为 2500，其余刀具参数、参考高度、进给下刀位置、图形选择和

切削范围等均同步骤 1)；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.2，勾选“由切削范围外下刀”，单击“整体误差”，选择过滤的比率 1:1，设定整体误差 0.02，其余默认，如图 6-9 所示；单击“粗加工参数”选项卡的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：–24.02822，最低位置：–24.02822，勾选“自动调整加工面的预留量”；在“挖槽参数”选项卡中选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75，其余默认。

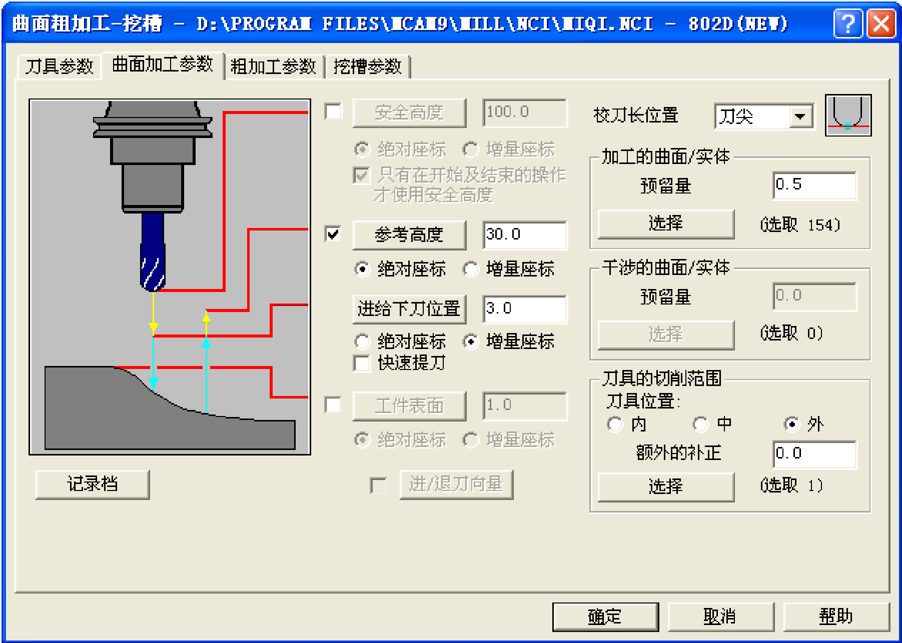


图 6-7　曲面加工参数



图 6-8　切削深度设定

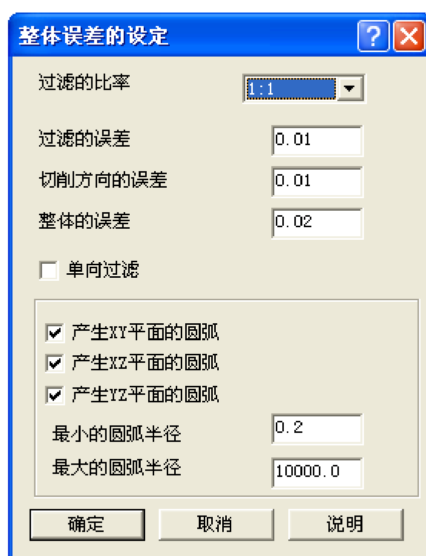


图 6-9　整体误差设定

4）选择“曲面精加工—3D 等距”，从刀库中选择 $\phi 3R1.5$ 球刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：3000，冷却液：喷油，其余参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1)；在“3D 环绕等距加工参数”选项卡中单击“整体误差”按钮，选择过滤的比率为 1:1，设定整体误差 0.02，其余默认，设定最大切削间距：0.15，勾选“由内而外环切”“切削顺序依照最短距离”，勾选“限定深度”，设定最高位置：0.0、最低位置：–23.82822，如图 6-10 所示，单击“间隙设定”，设定容许的间隙点选“距离”，其余默认。

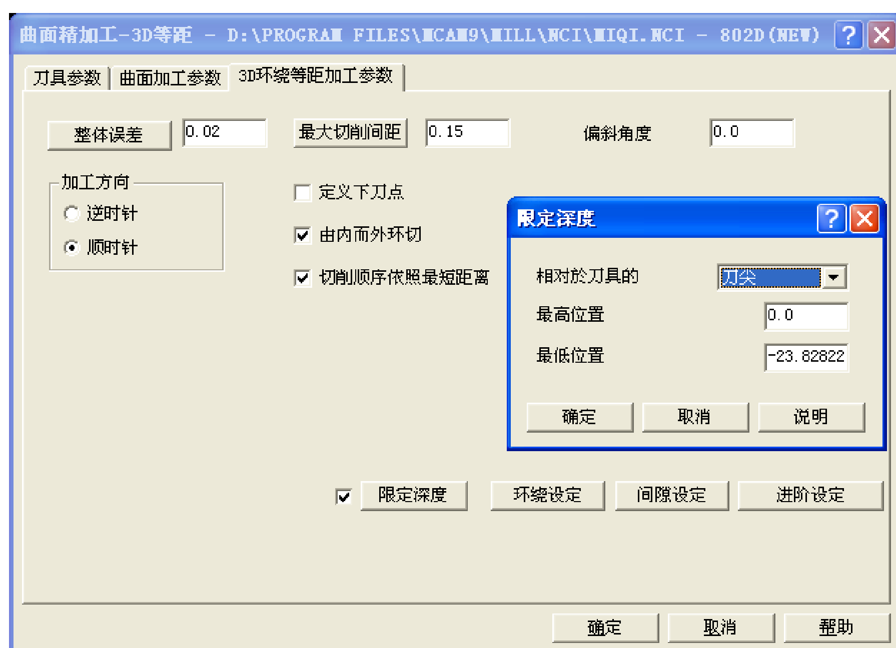


图 6-10　3D 环绕等距加工参数

5）选择“曲面粗加工—等高外形”，从刀库中选择 ϕ3 平刀，将进给率设定为 400，下刀速率设定为 200，主轴转速设定为 3000，其余刀具参数、参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1)；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0，干涉的曲面/实体预留量：0；在“等高外形粗参数”选项卡中单击“整体误差”，选择过滤的比率 1:1，其余默认，设定轴最大进给量：0.2，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，单击“切削深度”，设定最高位置：−23.02822、最低位置：−24.02822，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余默认，如图 6−11 所示。工件毛坯设定为 X100 Y80 Z35，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 6−12 所示。将图形保存为“MIQI. MC9”文件。

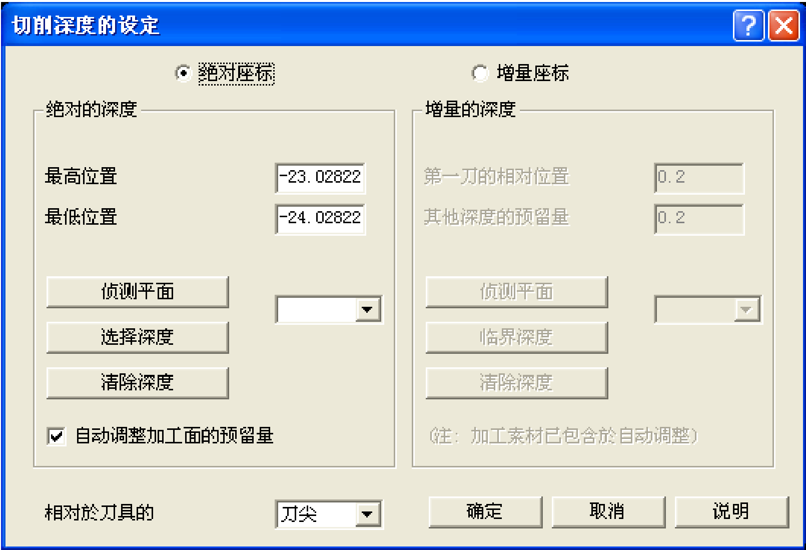


图 6−11　切削深度设定

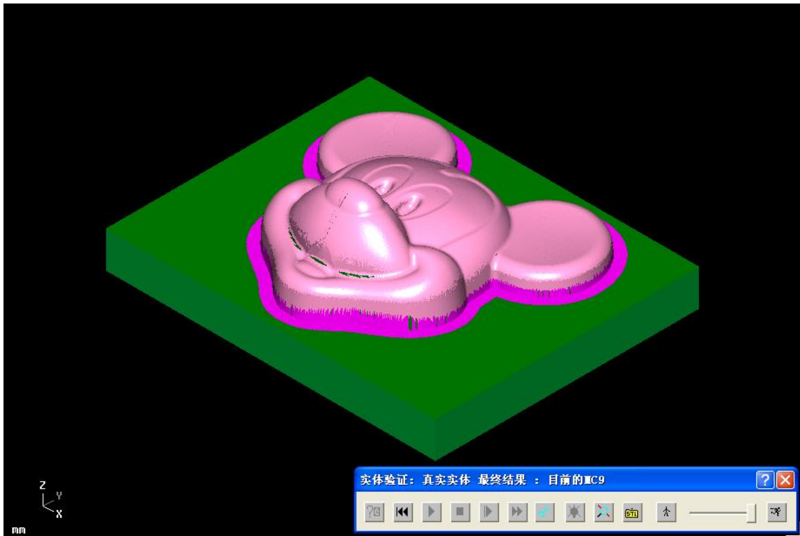


图 6−12　实体切削验证

例 6-3：奥运福娃的刀具路径编辑

典型曲面零件——奥运福娃的 CAD 模型由反求工程得到，通过 Pro/E 或 Imageware 对点云数据进行模型重建，以曲面的形式保存为 fuwa.igs 文件。在开始加工之前，需要作一些必要的处理，以方便加工。操作步骤如下：

1）在 Mastercam Mill 主界面，单击“档案”“档案转换”“IGES”“读取”，选择 fuwa.igs 文件，单击“确定”，参数默认。

2）将萤幕视角切换为“前视图”，单击主菜单“转换”“旋转”，选择所有的图素，以原点为中心，以移动的方式旋转 90°。将萤幕视角切换为“俯视图”，单击主菜单“转换”“旋转”，选择所有的图素，以原点为中心，以移动的方式旋转 180°，清除颜色。

3）删除 6 个平面，在“工作设定”菜单条里单击“边界盒”，弹出“绘制边界盒”对话框，不勾选“中心点”，其余默认，产生整个图素的边界。将构图面设定为“空间绘图”，以上表面对角两点画线，选择所有的图素，以两点之间移动的方式从该对角线的中点至原点平移。

4）设定新的作图深度。深度设定采用抓点方式，抓取边界盒底面直线的端点，此时 Z=−14.262，然后删除所有直线。将构图面设定为“俯视图”，绘制矩形 78mm×58mm，角落倒圆角：开，半径：3。

5）新建第 2 层，名称为“solid”，颜色：蓝色，向下挤出高度为 15mm 的长方体，角落倒圆角 *R*3。设第 1 层为当前层，颜色：灰色，由实体产生曲面，并关闭第 2 层，如图 6−13 所示。

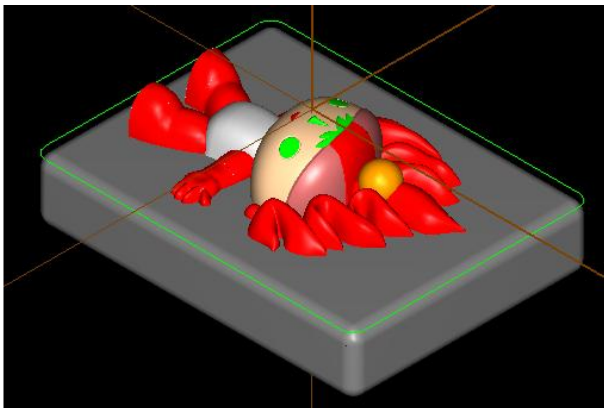


图 6−13　福娃 CAD 模型

奥运福娃的刀具路径编辑分为正面和反面加工两步。正面主要加工零件的整个形状，反面则主要加工平面和外形轮廓并倒圆角 *R*3，以保证零件外形的美观。

反面的建模与刀具路径编辑的操作步骤如下：

1）新建 Mastercam 文档，在默认界面，绘制矩形 78mm×58mm，角落倒圆角：开，半径：3，如图 6−14 所示。

2）新建第 2 层，名称：solid，颜色：蓝色，向下挤出高度为 15mm 的长方体，角落倒圆角 *R*3。设第 1 层为当前层，颜色：灰色，由实体产生曲面，并关闭第 2 层。

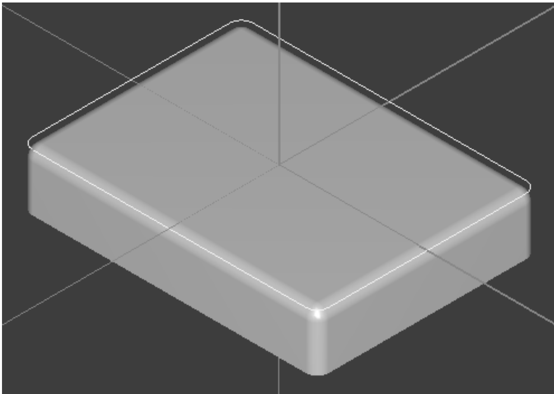


图 6-14　福娃反面加工 CAD 模型

3）选择“面铣”，从刀库中选择ϕ8 平刀，精修 78mm×58mm 矩形上表面，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“面铣加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0，进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，工件表面：0.0，深度：–0.3，其余默认，如图 6-15 所示。

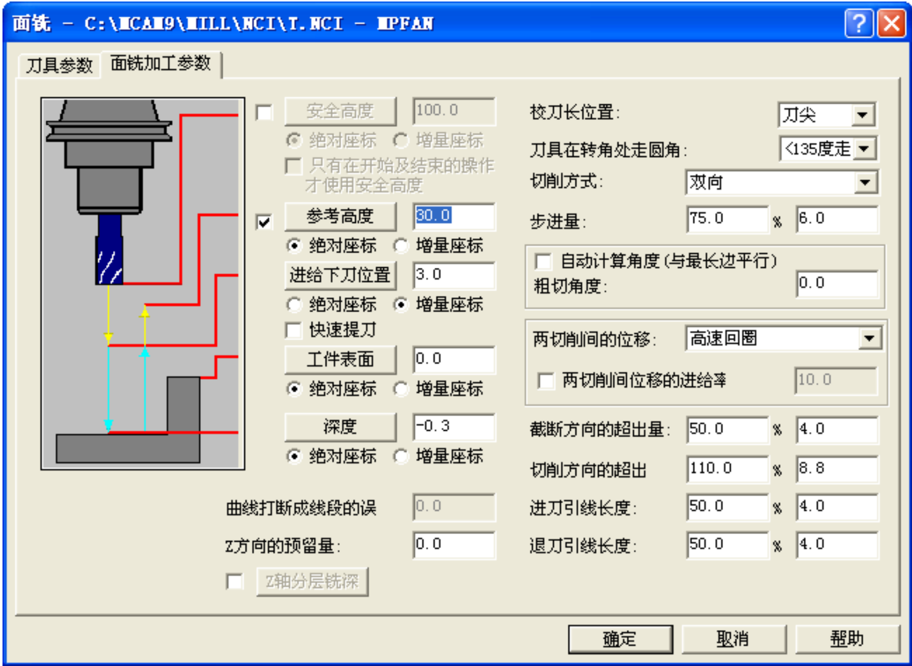


图 6-15　面铣加工参数

4）选择“外形铣削（2D）”，加工 78mm×58mm 矩形外形。输入进给率：600、下刀速率：300，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 3），工件表面：0，深度：–18，XY 方向预留量：0，Z 方向预留量：0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，勾选“Z 轴分层铣深”，勾选“进/退刀向量”，参数默认；在“Z 轴分层铣深设定”对话框中输入最大粗切深度：0.6，勾选“不提刀”，其余默认。

5）选择“曲面精加工—流线”，从刀库中选择 $\phi 6R1.5$ 的球刀，输入进给率：600、下刀速率：300、提刀速率：2000、主轴转速：3000，冷却液：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中，参考高度和进给下刀位置等均同步骤 3），加工的曲面选择全部的倒角面，预留量：0，其余默认；在“曲面流线精加工参数”选项卡中输入截断方向的控制的距离：0.1，其余默认，如图 6-16 所示。切削方向的流线参数如图 6-17 所示。设定工件毛坯 X80 Y60 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 6-18 所示。将图形保存为 FUWA-B.MC9 文件。

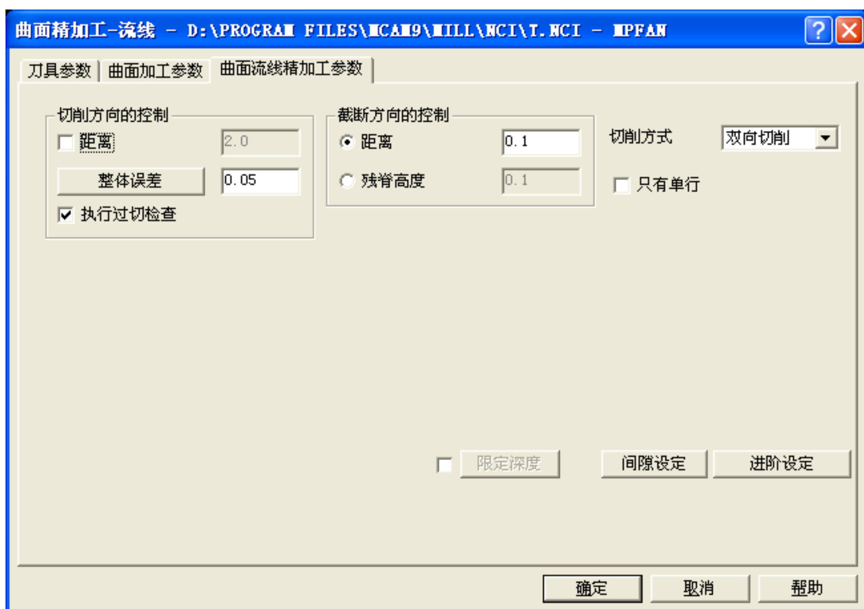


图 6-16　曲面流线精加工参数

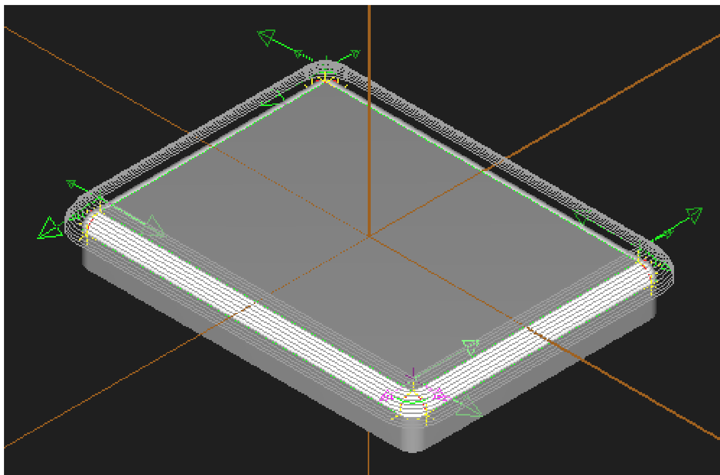


图 6-17　切削方向的流线参数

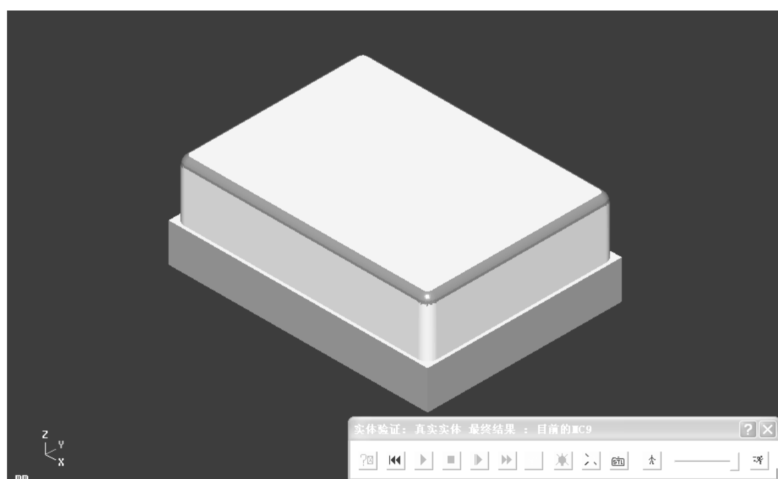


图 6-18　福娃反面加工实体切削验证

正面的刀具路径编辑操作步骤如下：

1）新建群组“D8”，选择“曲面粗加工—挖槽”，从刀库中选择ϕ8 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500，冷却液：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中，图形选择所有的曲面，切削范围选择 78mm×58mm 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.3，刀具的切削范围点选“中”，输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.5，勾选“由切削范围外下刀”，单击“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，输入最高位置：–0.3、最低位置：–14.262，勾选“自动调整加工面的预留量”；在“挖槽参数”选项卡中选择“等距环切”，输入切削间距（直径%）：75，其余默认。

2）新建群组“D5”，选择“曲面粗加工—等高外形”，从刀库中选择ϕ5 平刀，将进给率设定为 600，下刀速率设定为 300，其余刀具参数、参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1）；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0.15；在“等高外形粗参数”选项卡中设定 Z 轴最大进给量：0.2，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，单击“切削深度”按钮，切削深度参数同步骤 1），其余默认。

3）选择“曲面粗加工—挖槽”，仍然选择ϕ5 平刀，将进给率设定为 400，下刀速率设定为 200，刀具的切削范围点选“外”，其余刀具参数、参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1）；在“曲面加工参数”选项卡中设定加工的曲面/实体预留量：0；在“粗加工参数”选项卡中输入 Z 轴最大进给量：0.5，勾选“由切削范围外下刀”，单击“整体误差”，选择过滤的比率为 1:1，其余默认；单击粗加工参数的“切削深度”按钮，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：–14.262、最低位置：–14.262，勾选“自动调整加工面的预留量”；在“挖槽参数”选项卡中选择“双向切削”，设定切削间距（直径%）：50.0，其余默认，如图 6-19 所示。

4）新建群组“D2”，选择“曲面粗加工—等高外形”，从刀库中选择ϕ2 平刀，将进给率设定为 600，下刀速率设定为 300，主轴转速设定为 4000，其余刀具参数、参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1）；在“曲面加工参数”选项卡中设定加

工的曲面/实体预留量：0.08；在“等高外形粗参数”选项卡中设定轴最大进给量：0.08，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，单击“切削深度”按钮，设定最高位置：–0.3、最低位置：–14.262，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余默认。



图 6-19　挖槽参数

5）复制步骤 4），将进给率改为 400，下刀速率改为 200，设定加工的曲面/实体预留量：0；单击“切削深度”按钮，设定最高位置：–14.262、最低位置：–14.262，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余默认。

6）将萤幕切换到俯视图，设定作图深度 Z=0，绘制水平线 Y=–2，起点和终点保证刚好切削到残留的余量。选择“外形铣削（2D）”，加工该直线。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 5），工件表面：–14.26201，深度：–14.26201，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“关”，不勾选“进/退刀向量”，其余默认，如图 6–20 所示。

7）新建群组“D6R1”，选择“曲面精加工—3D 等距”，从刀库中选择 $\phi 3R1$ 球刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：4000，冷却液：喷油，其余参考高度、进给下刀位置、图形选择和切削范围等均同步骤 1）；设定加工的曲面/实体预留量：0；在“3D 环绕等距精加工参数”选项卡中单击“整体误差”按钮，选择过滤的比率为 1:1，其余默认，设定最大切削间距：0.08，勾选“限定深度”，设定最高位置：0.0、最低位置：–14.16201，其余默认，如图 6–21 所示。

8）将颜色切换为“红色”，单击“绘图”“曲面曲线”“单一边界”，选择福娃两个眼睛所在的曲面，获得边界，如图 6–22 所示。选择“曲面精加工—投影”，刀具参数、参考高度、进给下刀位置等均同步骤 1）；设定加工的曲面/实体预留量：–0.1，曲面选择两个眼睛所在的曲面；在“投影精加工参数”选项卡中，投影方式点选“曲线”，选择刚才所获得的曲面边界，单击“整体误差”按钮，选择过滤的比率为 1:1，其余默认，如图 6–23 所示。设定工件毛坯 X80 Y60 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体验证效果如图 6–24 所示。将图形保存为“FUWA-A.MC9”文件。

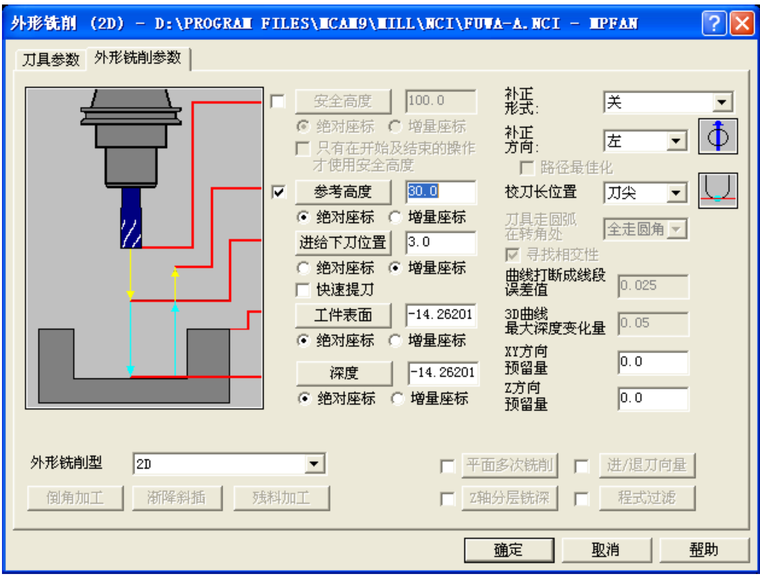


图 6-20　外形铣削参数

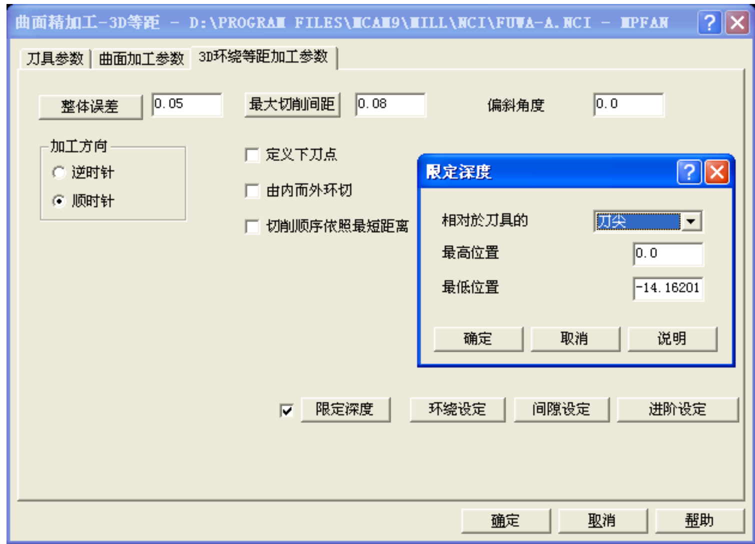


图 6-21　3D 环绕等距参数

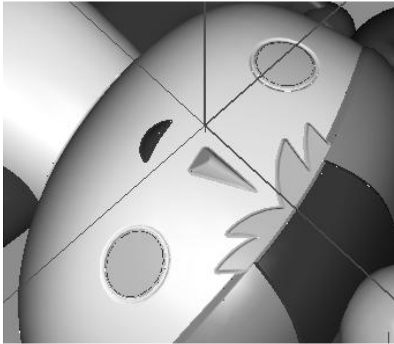


图 6-22　投影曲面与边界



图 6-23　投影精加工参数

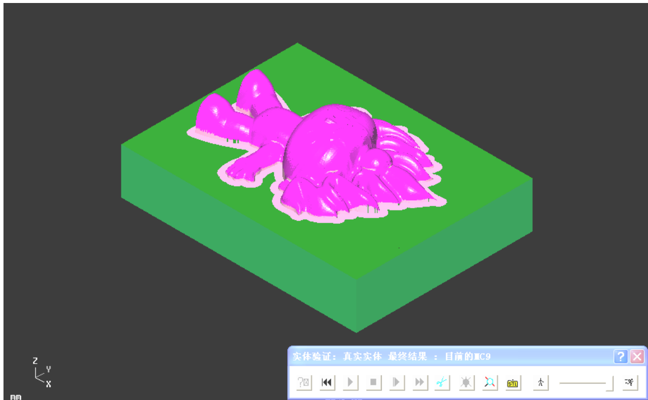


图 6-24　福娃实体切削验证


注：

曲面加工应注意的问题：

1）采用球刀加工时应注意切削深度，不要让刀尖下到底平面，一般离底平面 0.1～0.3mm 即可。

2）精加工工序多采用平行铣削或 3D 等距，平行铣削的缺点是加工较陡的曲面时容易产生刀痕，在此情况下用 3D 等距方式加工较平行铣削好。

本 章 小 结

本章主要介绍了利用 Mastercam 进行曲面加工时的一些常见方法。数控铣床相对于普通铣床的优势就在于能够进行复杂曲面的加工，并且加工工艺有一定的规律可循，大致可分为粗加工曲面挖槽、半精加工等高轮廓、局部铣削、曲面精加工平行铣削或 3D 环绕等距、曲面挖槽铣底平面等。其中，局部铣削不是必需的步骤，主要是为了保证精加工余量的均匀。

第 7 章　Mastercam 常见刀具路径编辑技巧

前 6 章主要介绍了 Mastercam 常见的加工方法和零件加工的实例。实际上，由于零件的复杂性和多样性，在利用 Mastercam 建模和刀具路径编辑上也有一些技巧，下面通过几个实例来说明。

7.1　零件 1 的工艺分析

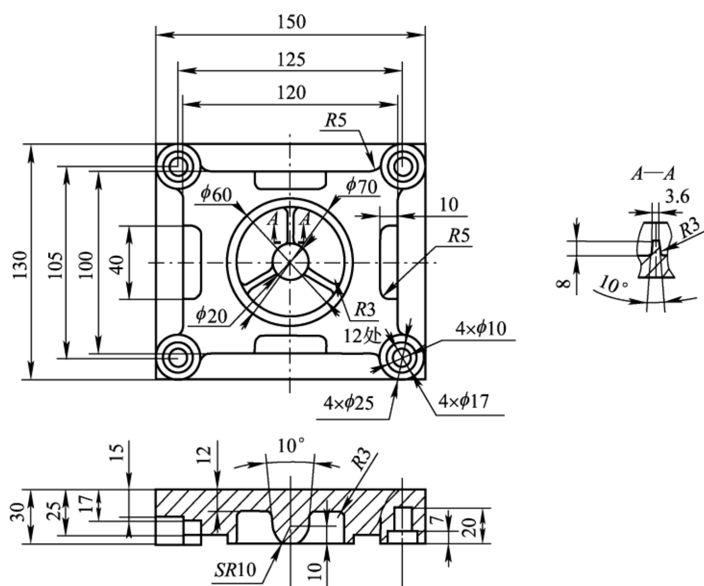


图 7-1　零件 1

技术要求：

1．以小批量生产编程。

2．不准用砂布及锉刀修饰表面。

3．未注公差尺寸按 GB/T 1804—m。

毛坯尺寸：150mm×130mm ×30mm。

与其他 CAD/CAM 软件相比，Mastercam 的优势是二维加工简单明了、容易学习，这

一点是 UG、Pro/E 等软件无法比拟的。在判断零件尺寸是否合格的方法上，大多数企业或操作工人都是用基本的测量工具，如游标卡尺、千分尺、百分表、直角尺、R 规等来测量图样标注尺寸，很少有企业能够具备三坐标测量机、光学投影仪等设备来测量空间曲面尺寸。也就是说，操作工人用常规测量工具测量图样标注尺寸作为判断零件合格的标准，空间曲面尺寸因为无法测量而一般认为都是合格的。

除了第 6 章典型曲面零件外，大多数零件一般都具有二维线框和三维曲面的特征。加工方法基本遵循二维线框建模－三维实体建模－生成曲面－刀具路径编辑等过程。

本例也遵循这个过程，所不同的是，本例仅对三维曲面需要加工的部分少量建模，而其他部分采用二维建模。图 7−1 中有多处 *R*5 和 *R*3 的圆角，为了避免多次换刀，选择ϕ10、ϕ6 的平刀和ϕ6*R*3 的球刀进行加工。

7.2　零件 1 的 CAD 建模

操作步骤如下：

1）以 Z0 为作图深度，分别以 X67.5 Y52.5、X−67.5 Y52.5、X−67.5 Y−52.5、X67.5 Y−52.5 为中心绘制 4×ϕ25、4×ϕ17、4×ϕ10 圆，以原点为中心绘制ϕ60、ϕ70 圆，如图 7−2 左所示。

2）设定新的作图深度 Z-5，作 4×ϕ25 圆，矩形 120×100，圆角 *R*5（8 个），修剪后图形如图 7−2 右所示。

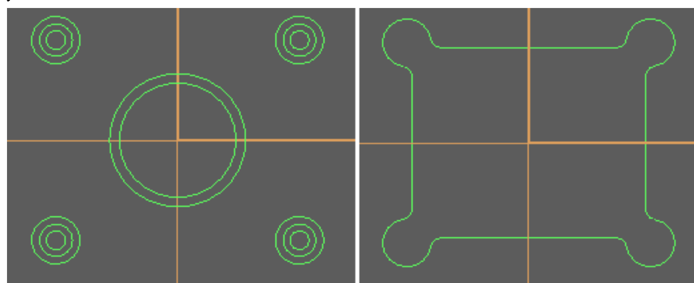


图 7−2　步骤 1）、2）的建模

3）设定新的作图深度 Z-10，作 40×20、20×40、圆角半径为 *R*5 的矩形各 2 处，选择步骤 2）矩形边的中点为抓点方式，如图 7−3 所示。

4）以原点为圆心作ϕ20 圆；以 33×3.6 作矩形，点的位置选择“中下”，在“转换”菜单单击“旋转”，以原点为抓点方式，将该矩形以复制方式旋转 2 次，角度为 120°，修剪各处，图形如图 7−3 所示。

5）设定新的作图深度 Z-15，作矩形 150×130，在“转换”菜单条里以“串联补正”的方式向外补正 10mm。

6）将上述二维图形默认放在第 1 层，设定层名称“line”，新建层：2，设定名称：“solid”，颜色为“3 号青色”，将第 2 层设为当前层。

7）将视图切换到等角视图，单击“实体”“挤出”，选择ϕ70 圆，方向“下”，距离：30；单击“实体”“挤出”，选择ϕ60 圆，方向“下”，距离：18，点选“切割主体”。

8）单击“实体”“挤出”，选择ϕ20 的圆，方向“下”，距离：10，点选“增加凸缘”；勾选“增加拔模角”“朝外”，设定角度：10°，点选“增加凸缘”，如图 7−4 所示。

9）单击“实体”“挤出”，选择 3 个修剪后的 33×3.6 矩形，方向“下”，距离：10，勾选“增加拔模角”“朝外”，设定角度：10°，点选“增加凸缘”，如图 7-4 所示。

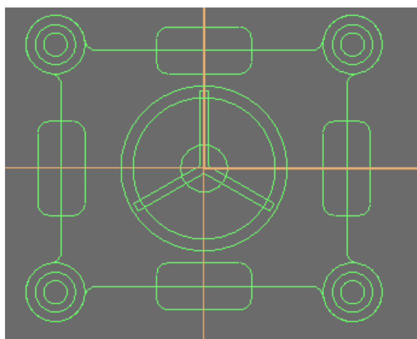


图 7-3　步骤 3）、4）的建模

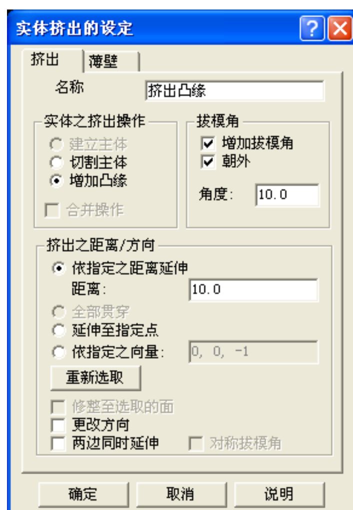


图 7-4　步骤 8）、9）的建模

10）以原点为球心作基本实体“圆球”，半径 *R*10，与步骤 9）的实体做“结合”的布尔运算；单击“实体”“导圆角”，按图样要求各处导圆角 *R*3。

11）新建层：3，设定名称：“surface”，颜色为“9 号蓝色”，将第 3 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“由实体产生”，选择上述所建的实体，产生曲面，并关闭第 2 层，最终建模效果如图 7-5 所示。

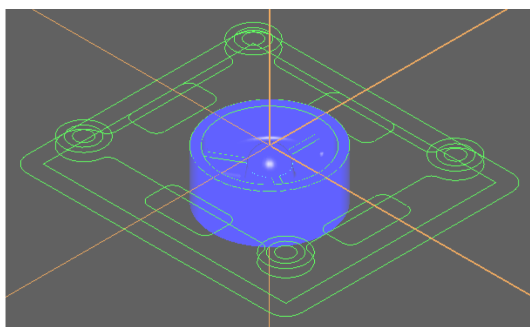


图 7-5　零件 1 的 CAD 建模



注：

本例零件的特点是多为直线和平面，少量曲面。直线和平面的加工可以用二维线框来完成，所以不必对整个实体进行建模，从而节省时间。

7.3　零件 1 的刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）选择“挖槽”，从刀库中选择直径 10mm 的平刀，加工图形选择 4×ϕ25、ϕ70 圆和

170×150 的矩形；在“刀具参数”选项卡，输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500、勾选：“喷油”。在“挖槽参数”选项卡，输入参考高度：30.0，进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，工件表面：0.0，深度：–5.0；XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0；勾选“Z 轴分层铣深”，在“Z 轴分层铣深设定”对话框，设定最大粗切深度：0.8，设定精修次数：1，精修量：0.2，勾选“不提刀”，分层铣深的顺序点选“依照深度”，如图 7–6 所示。在“粗切/精修 参数”选项卡，选择“等距环切”，切削间距（直径%）：75.0，勾选“刀具路径最佳化（避免插刀）”“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度才执行一次精修”，勾选“进给率”，设定为 500.0，勾选“主轴转速（S）”设定为 2500，其余默认，如图 7–7 所示。

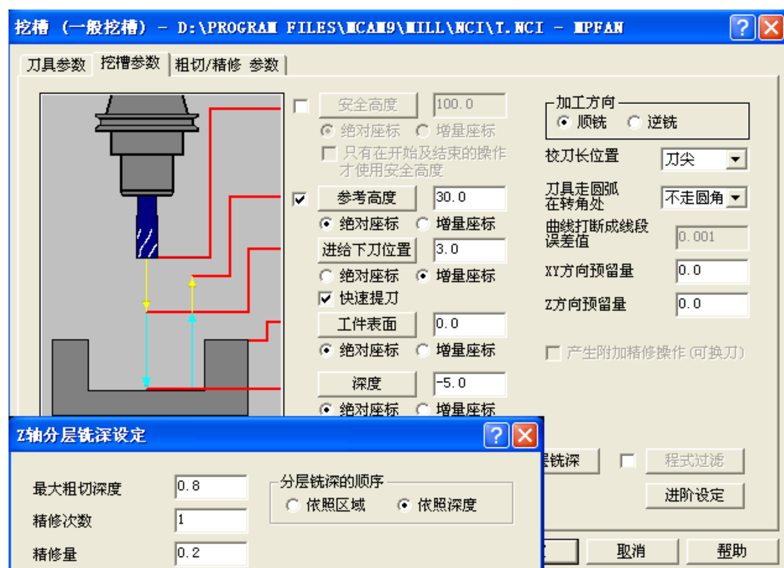


图 7–6 步骤 1）挖槽参数



图 7–7 步骤 1）粗切/精修 参数

2）选择“外形铣削（2D）”，加工图 7-2 右所示外形。刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1），工件表面：0，深度：–15，XY 方向预留量：0，Z 方向预留量：0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右；勾选“Z 轴分层铣深”，参数同步骤 1）；勾选“进/退刀向量”，参数默认；勾选“平面多次铣削”，设定粗铣次数：2，间距：5，设定精修次数：1，间距：0.2，执行精修的时机，点选“最后深度”，勾选“不提刀”，其余默认。

3）复制步骤 1），图形选择 40×20、20×40、圆角半径为 $R5$ 的矩形各 2 处，设定工件表面：–5，深度：–13，其余默认。

4）选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，继续选择 ϕ10 平刀，图形选择 4×ϕ17 孔，进给率改为 600，下刀速率改为 300，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1），工件表面：0，深度：–7，XY 方向预留量：0，Z 方向预留量：0，补正形式选择“电脑”，补正方向：左；在“外形铣削的渐降斜插”对话框，点选“深度”，设定斜插深度：0.4，勾选“在最终深度补平”，其余默认，如图 7-8 所示。将以上步骤 1）～4）设定为一个群组，群组名称 D10。

5）新建群组 D6，选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，从刀库中选择 ϕ6 平刀，图形选择 4×ϕ10 孔，工件表面：–7，深度：–20，其余参数均同步骤 4）。

6）选择“曲面粗加工－挖槽”，继续选择 ϕ6 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，图形选择所有的曲面，切削范围选择 ϕ70 圆，设定加工的曲面/实体预留量：0.3，刀具的切削范围点选“中”；在“粗加工参数”选项卡，输入 Z 轴最大进给量：0.5，勾选“螺旋式下刀”，在“螺旋式下刀”选项卡对话框，设定最小半径为 20.0%、最大半径为 50.0%，Z 方向开始螺旋位置（增量）：0.5，XY 方向预留间隙：0.5，进刀角度：3.0，如果螺旋下刀失败，点选“中断程式”，进刀采用的进给率，点选“下刀速率”，其余默认，如图 7-9 所示。在“挖槽参数”选项卡，选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75.0，其余默认，如图 7-10 所示。

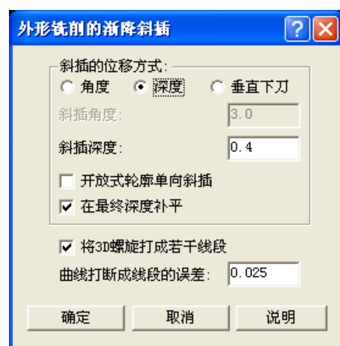


图 7-8　渐降斜插参数

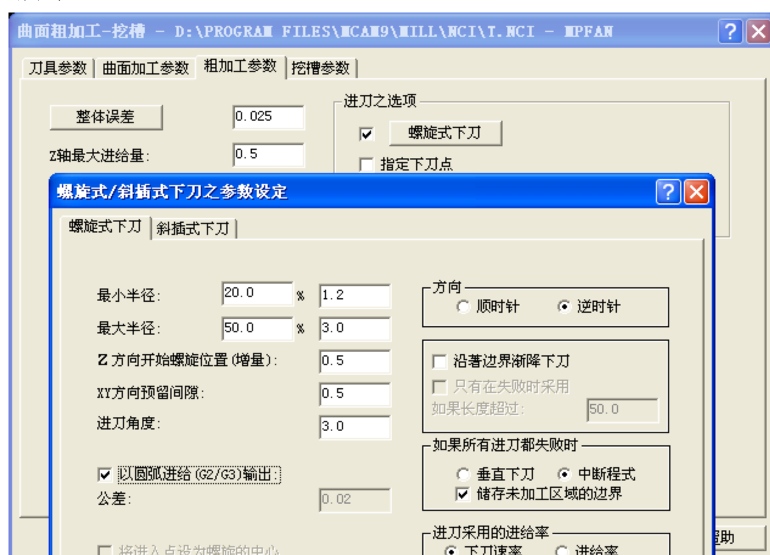


图 7-9　步骤 6）曲面粗加工参数

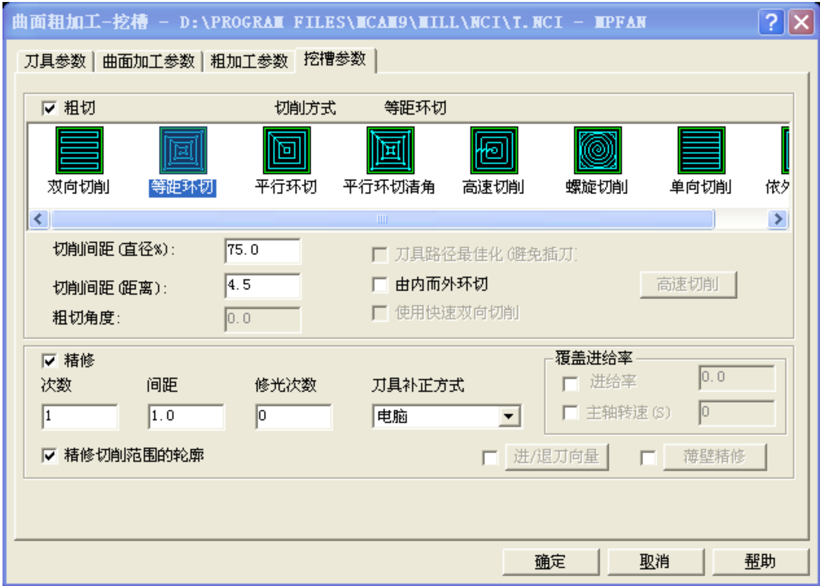


图 7-10　步骤 6）挖槽参数

7）复制步骤 6)，在“曲面加工参数”选项卡中将加工的曲面/实体预留量改为 0，在“粗加工参数”选项卡，单击“限定深度”，在“切削深度的设定”对话框中，点选“绝对坐标”，设定最高位置：–18.0、最低位置：–18.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认，如图 7-11 所示。

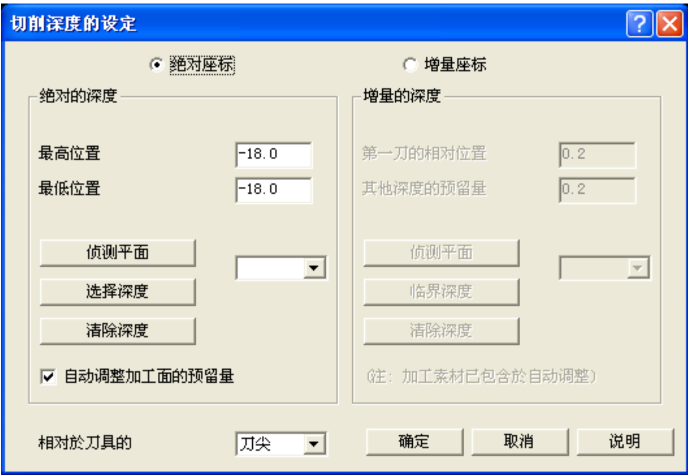


图 7-11　步骤 7）切削深度的设定

8）选择“挖槽”，继续选择ϕ6 平刀，加工图形选择ϕ60、ϕ20 圆。工件表面：0，深度：–10，不勾选“分层铣深”，其余参数均同步骤 1)。

9）选择“曲面精加工—等高外形”，继续选择ϕ6 平刀，进给率改为 400，下刀速率改为 200，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1)。设定加工的曲面/实体预

留量：0，加工面选择 *SR*10 半球面，干涉的曲面/实体预留量：0，不选择切削范围；在“等高外形精加工参数”选项卡，设定 Z 轴最大进给量：0.1，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，其余默认，单击“限定深度”，在“切削深度的设定”对话框中，点选“绝对坐标”，设定最高位置：–7.0、最低位置：–10.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认，如图 7–12 所示。



注：

步骤 9）主要是为了加工半球面下部球刀无法到达的部位，因此改用平刀加工。

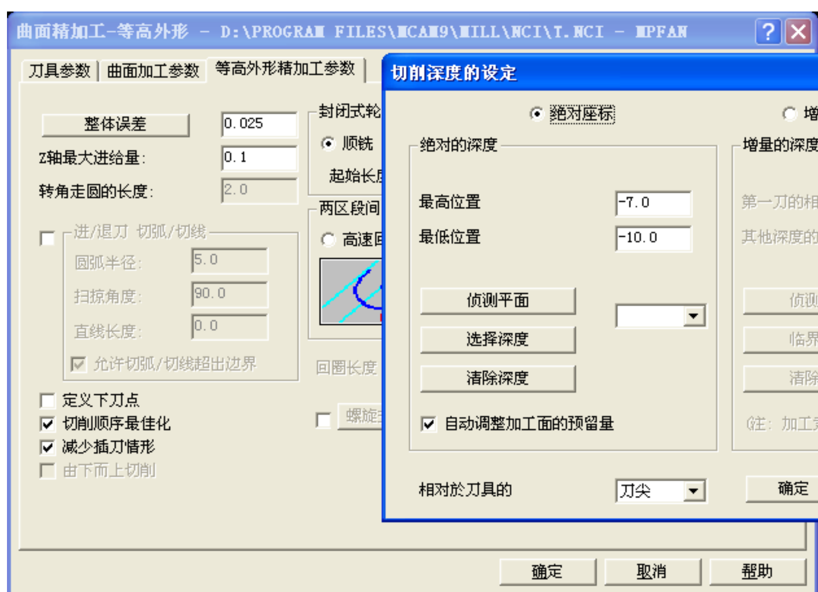


图 7–12　步骤 9）参数设定

10）新建群组 D6R3，从刀库中选择$\phi 6R3$的球刀，选择“环绕等距”加工方式，加工 *SR*10 半球面，不选择干涉面，不选择切削范围；在“刀具参数”选项卡，输入进给率：400、下刀速率：200、提刀速率：2000、主轴转速：3000，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡，设定参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，加工的曲面/实体预留量：0，干涉的曲面/实体预留量：0；在“3D 环绕等距参数”选项卡，设定整体误差：0.02，过滤的比率为 1:1，最大切削间距：0.1，勾选“限定深度”，设定最高位置：0.0、最低位置：–10.0，其余参数默认，如图 7–13 所示。

11）选择“曲面精加工—等高外形”，继续选择$\phi 6R3$ 球刀，进给率改为 400、下刀速率改为 200，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 10）。设定加工的曲面/实体预留量：0，加工面选择所有的曲面，不选择干涉面，切削范围选择$\phi 60$ 圆；在“等高外形精加工参数”选项卡，设定 Z 轴最大进给量：0.1，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，其余默认，单击“限定深度”，在“切削深度的设定”对话框中，点选“绝对坐标”，设定最高位置：–10.0，最低位置：–18.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认，如图 7–14 所示。工件设定为 X150 Y130 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 7–15 所示。将图形保存为“7–1. MC9”文件。



图 7-13　步骤 10）参数设定



图 7-14　步骤 11）等高外形精加工参数

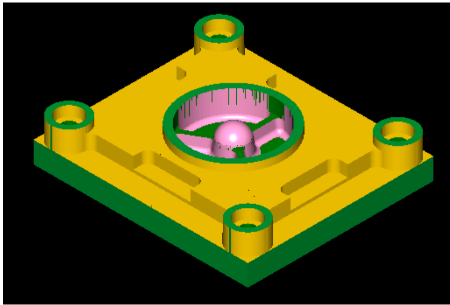


图 7-15　零件 1 实体切削验证



注：

步骤 11）主要是为了加工 10° 的斜面和 *R*3 圆角面，只能用曲面精加工等高外形来做，其他方法都不太好，有兴趣的读者可以自己试一试。

一般来讲，直径 6mm 以下的平刀和球刀，刀具刃口直径和夹持部分的直径是不同的，比如ϕ5、ϕ3、ϕ6*R*3、ϕ6*R*1.5 等，其弹簧夹头夹持部分的直径都为 6mm，而刃口直径则是ϕ5、ϕ3、*R*3、*R*1.5。这也是为什么选用ϕ6*R*3 球刀而不选用ϕ6*R*2.5 球刀的原因，如果选用ϕ6*R*2.5 球刀，ϕ60 内圆柱面由于较深是无法下刀的。

本例全部是自由公差尺寸，工艺上与第 2 章有所不同，尺寸都是一步到位的，省略了测量和误差修正的环节。实际加工过程中，如果选用正确的刀具和正确的对刀操作，误差会很小，而且在自由公差范围内。

用立铣刀走外形铣削（螺旋式渐降斜插）代替钻孔，是一种常见的孔加工方法。在加工过程中，例如用ϕ6 平刀加工ϕ10 的孔时会存在排屑困难的问题，由于残料来不及排出和受到挤压，加工的孔径一般偏小且误差较大，解决办法是等该平刀加工完后，吹气排屑，测量孔实际尺寸后重走一遍外形铣削（螺旋式渐降斜插）即可。

本例的主轴转速、进给率等都沿袭前几章的参数，实际上开粗加工进给率可以到 1200～1500mm/min，精加工可以到 800～1000 mm/min，以提高效率。

7.4　零件 2 的工艺分析

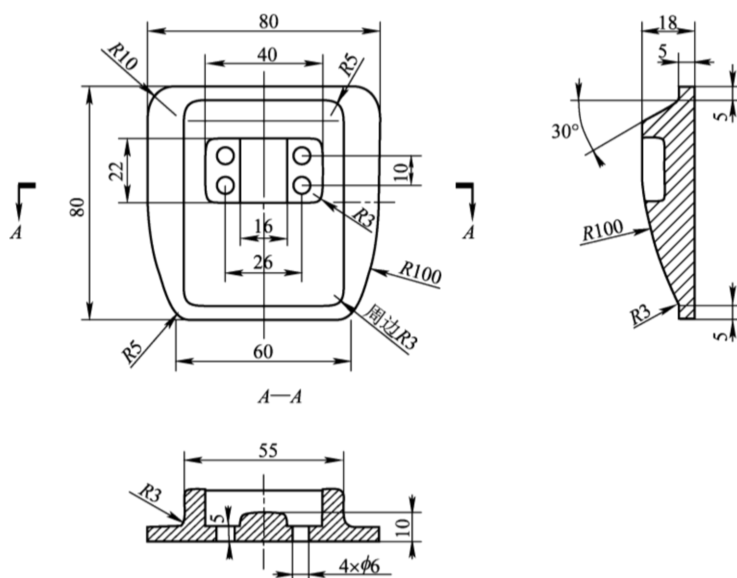


图 7-16　零件 2

技术要求：

1．以小批量生产编程。

2．不准用砂布及锉刀修饰表面。

3．未注公差尺寸按 GB/T 1804—m。

本例的特点是空间三维曲面尺寸较多，也有部分二维尺寸，图 7-16 中多有 *R*5 和 *R*3 的圆角，一般刀具不易加工到位，综合考虑效率问题，选择 ϕ12、ϕ6 平刀，ϕ6*R*3 球刀和 ϕ6 钻头进行加工。

7.5　零件 2 的 CAD 建模

操作步骤如下：

1）以 Z-18 为作图深度，以原点为抓点方式作 80×80 矩形，其余参数默认。

2）单击“绘图”“圆弧”“切弧”“经过一点”，圆弧所切物体选择“矩形左边一条边”，输入经过点：X–30 Y–40，输入半径：100，高亮显示所有符合条件的圆弧后，将光标移动到所需要的圆弧附近，单击鼠标左键完成。

3）同理，圆弧所切物体选择“矩形右边一条边”，输入经过点 X30 Y–40，输入半径：100，高亮显示所有符合条件的圆弧后，将光标移动到所需要的圆弧附近，单击鼠标左键完成圆角 *R*10、*R*5 各两处。

4）以原点为抓点方式作矩形 16×22，点的位置选择“中下”。

5）设定新的作图深度 Z0，以原点为抓点方式作矩形 40×22，点的位置选择“中下”，分别以 X–13 Y6、X–13 Y16、X13 Y6、X13 Y16 为圆心作圆ϕ6。将步骤 1）～5）的图形放在第 1 层，取层名为 line1，如图 7−17 所示。

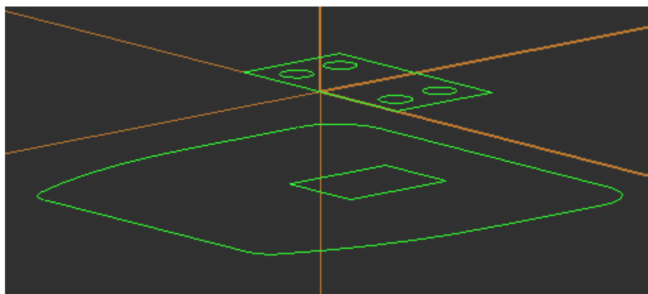


图 7−17　步骤 1）～5）模型

6）新建第 2 层，设定层名称“line2”，将第 2 层设为当前层并关闭第 1 层，将视图切换到侧视图，作图深度 Z0，以原点为抓点方式作矩形 80×18，点的位置选择“中上”。单击“转换”“平移”“仅某图素”“直线”，选择矩形的下底边，单击“执行”“直角坐标”，输入平移向量：Y5，以复制方式复制矩形下底边。

7）单击“直线”“极坐标线”，输入起始位置：X35Y-13，输入角度：120°，输入线长：50，绘制出角度线。

8）单击“圆弧”“切弧”“经过一点”，圆弧要切的物体选择矩形 80×18 的上底边，输入经过点：X–35 Y–13，输入半径：100，选择所要的圆弧，单击鼠标左键确定。修剪各处，完成后的图形如图 7−18 所示。

9）新建第 3 层，设定层名称“solid”，设定作图颜色：9 号蓝色，将第 3 层设为当前层并打开所有层。单击“实体”“挤出”“串联”，选择步骤 1）～3）所建立的图形，方向“上”，距离：5，单击“确定”建立实体。

10）单击“实体”“挤出”，选择图 7-18 图形，距离：27.5，勾选“两边同时延伸”，点选“增加凸缘”；单击“实体”“挤出”，选择 40×22 矩形，方向“下”，距离：13，点选“切割主体”；单击“实体”“挤出”，选择矩形 40×22，方向“下”，距离：10，点选“增加凸缘”；单击“实体”“挤出”，选择矩形 4×ϕ6，方向“全部向下”，点选“全部贯穿”。

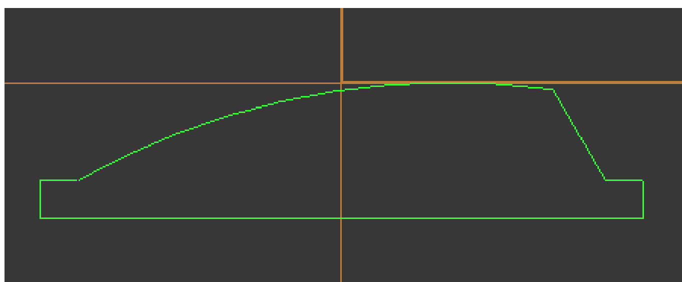


图 7-18　步骤 6）～8）模型

11）单击“实体”“导圆角”，选择 30° 斜边圆角 *R*5 两处，选择实体弧面上表面边界导圆角 *R*3，其余图样要求各处导圆角 *R*3。

12）新建层：4，设定名称：surface1，颜色为 11 号青色，将第 4 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“由实体产生”，选择刚才所建的实体，产生曲面，并关闭第 3 层，最终建模效果如图 7-19 所示。

13）新建层：5，设定名称：surface2，颜色为 12 号红色，将第 5 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“曲面修整”“填补内孔”，选择曲面上表面，将箭头移动到 40×22 矩形边缘，如图 7-19 所示，单击鼠标左键，产生补面，如图 7-20 所示。



注：

本例的补面是为了后续的加工考虑的，通过补面，可以改变加工工艺，优化刀具路径，读者可以在后续刀具路径编辑中加深体会。

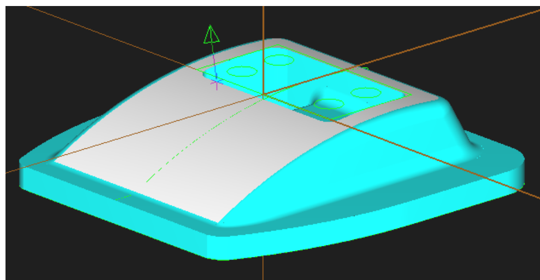


图 7-19　填补内孔示意图

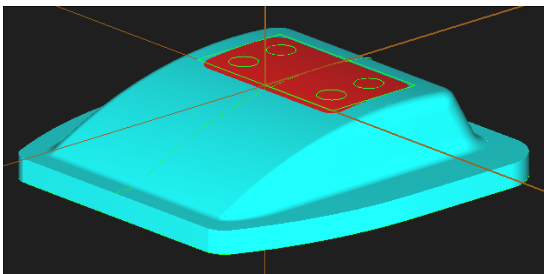


图 7-20　补面示意图

7.6 零件 2 的刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）新建操作群组 D12，选择“曲面粗加工—挖槽”，从刀库中选择ϕ12 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：1500、下刀速率：750、提刀速率：2000、主轴转速：2000，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，图形选择如图 7−21 所示，切削范围选择图 7−17 所示的底面外轮廓，设定加工的曲面/实体预留量：0.2，刀具的切削范围点选“外”；在“粗加工参数”选项卡，输入 Z 轴最大进给量：0.5，勾选“切削范围外下刀”，其余默认；在“挖槽参数”选项卡，选择“等距环切”，设定切削间距为 75%，其余默认。



注：

步骤 1）加工面包括了补面，主要有两个考虑：①如果全选所有的曲面，ϕ12 平刀势必加工 40×22 矩形里面的曲面，而由于刀具直径大，R3 圆角部分余量会较多，还是需要走小刀重复加工，还不如省掉该工序，在后续工序中直接用小刀加工；②如果不选所有的曲面，仅仅选择需要加工的面，由于中间有 40×22 矩形孔，挖槽会直接挖到底面，效果肯定不好。所以补面可以有效地改善工艺路线，控制加工过程，优化刀具路径。

2）复制步骤 1)，将进给率改为 800，下刀速率：400，设定加工的曲面/实体预留量：0，在“粗加工参数”选项卡，单击“切削深度”，点选“绝对坐标”，设定最高位置：−13.0、最低位置：−13.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认，如图 7−22 所示。

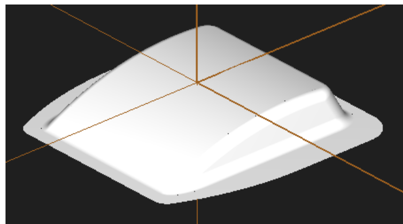


图 7−21 步骤 1）加工曲面

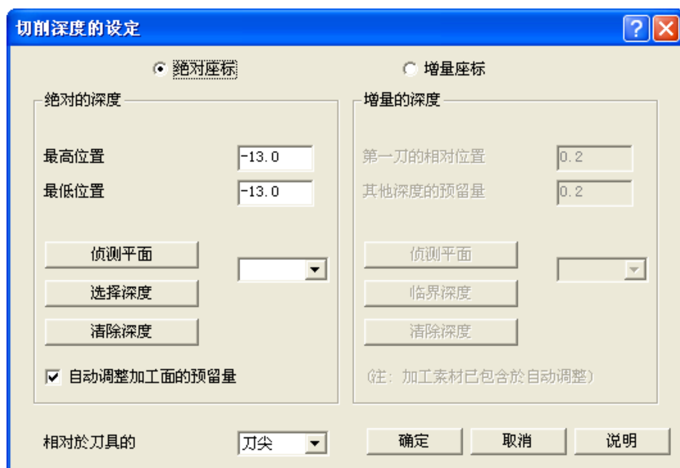


图 7−22 步骤 2）切削深度设定

3）选择“外形铣削”，继续选择ϕ12 平刀，图形选择图 7−17 所示的底面外轮廓，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1)，工件表面：−13，深度：−18，XY 方向预留量：0.2，Z 方向预留量：0，补正方向：右，勾选“Z 轴分层铣深”，设定最大粗切深度：1.0，勾选“不提刀”，其余默认，如图 7−23 所示。



图 7-23　步骤 3）参数

4）复制步骤 3），将进给率改为 800，下刀速率改为 400，XY 方向预留量：0，不勾选“Z 轴分层铣深”，其余默认。

5）将第 1 层设为当前层，关闭第 5 层。新建操作群组 D6，选择“曲面粗加工—挖槽”，从刀库中选择ϕ6 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：1500、下刀速率：750、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，图形选择所有的曲面，切削范围选择 40×22 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0.2，刀具的切削范围点选“中”；在“粗加工参数”选项卡，输入 Z 轴最大进给量：0.3，单击“切削深度”，在“切削深度的设定”对话框中，点选“绝对坐标”，设定最高位置：–0.5、最低位置：–13.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认，如图 7-24 所示；在“挖槽参数”选项卡，选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75.0，其余默认，如图 7-25 所示。



图 7-24　步骤 5）粗加工参数

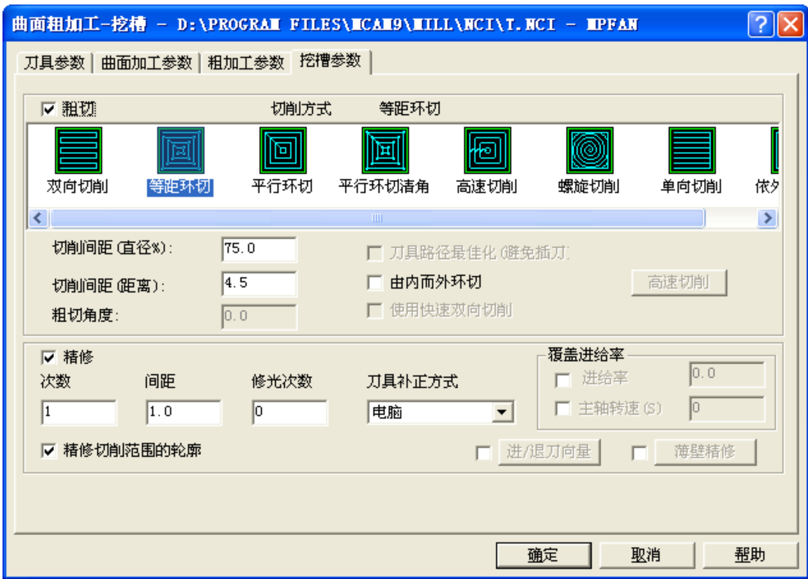


图 7-25　步骤 5）挖槽参数

6）设定新的作图深度 Z30，分别以 X–14 Y11 和 X14 Y11 为中心做矩形 12×22，在“矩形选项”对话框，“角落导圆角”勾选“开”，设定圆角半径：3，返回到“刀具路径操作管理”对话框，单击鼠标右键，选择“挖槽”，继续选择ϕ6 平刀，加工图形选择刚才的矩形。在“刀具参数”选项卡，输入进给率：600、下刀速率：300、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：“喷油”；在“挖槽参数”选项卡，参考高度和进给下刀位置等均同步骤 5），设定工件表面：–13，深度：–13，XY 方向预留量：0，Z 方向预留量：0；在“粗切/精修 参数”选项卡，选择“等距环切”，切削间距（直径%）：75.0，勾选“刀具路径最佳化（避免插刀）”“由内而外环切”“精修”“精修外边界”“不提刀”“只有在最后深度才执行一次精修”，其余默认，如图 7–26 所示，刀具路径如图 7–27 所示。

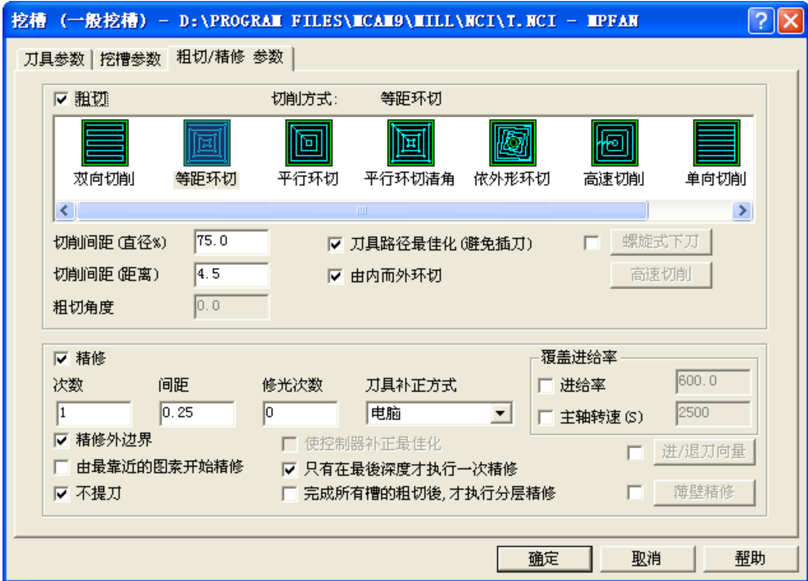


图 7–26　步骤 6）粗切/精修参数

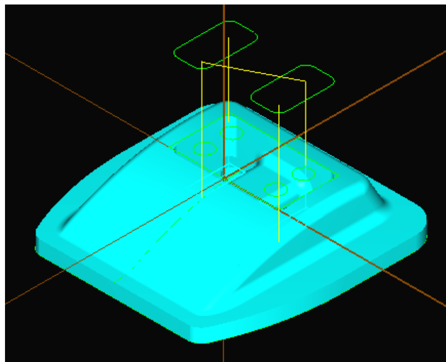


图 7-27　步骤 6）刀具路径

7）新建群组 D6R3，选择“曲面精加工—等高外形”，从刀库中选择$\phi 6R3$球刀，在“刀具参数”选项卡，设定进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：3000，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡，输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，设定加工的曲面/实体预留量：0.0，干涉的曲面/实体预留量：0.0，加工面的选择如图 7-28 左所示，干涉面的选择如图 7-28 右所示，不选择切削范围；在“等高外形精加工参数”选项卡，设定 Z 轴最大进给量：0.15，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，开放式轮廓的方向点选“双向”，单击“限定深度”，在“切削深度的设定”对话框中点选“绝对坐标”，设定最高位置：–0.0，最低位置：–13.0，勾选“自动调整加工面的预留量”，单击“间隙设定”，在“刀具路径的间隙设定”对话框，点选“距离”，设定为：36.0，其余参数均默认，如图 7-29 所示。

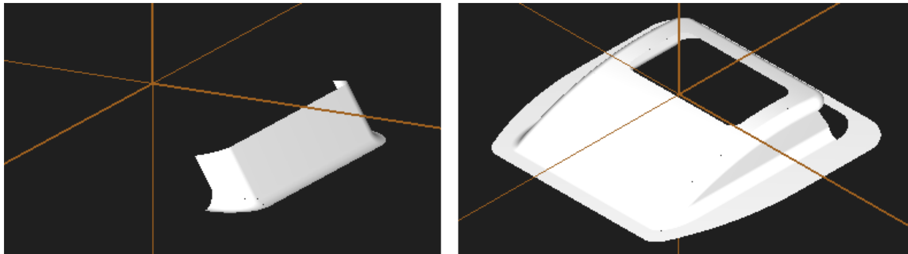


图 7-28　步骤 7）的加工面和干涉面

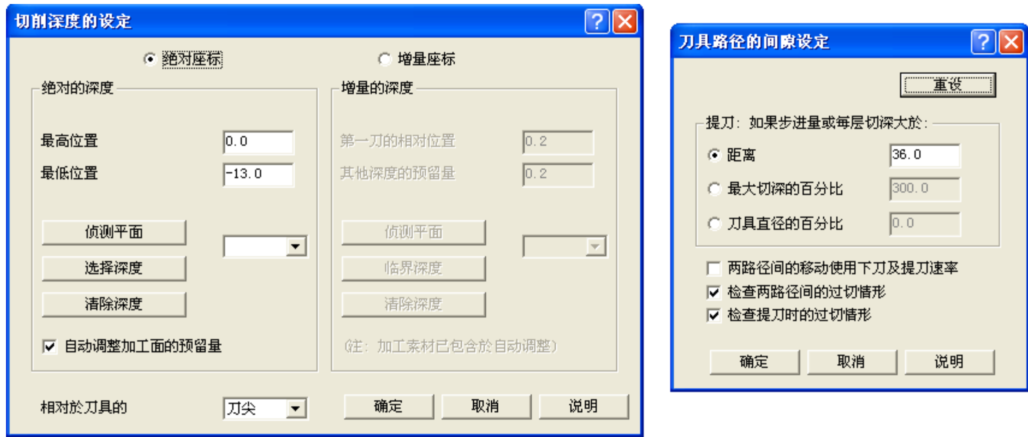


图 7-29　步骤 7）的切削深度和刀具路径间隙设定参数

8）复制步骤 7），加工面的选择如图 7-30 左所示，干涉面的选择如图 7-30 右所示，在“等高外形精加工参数”选项卡，设定 Z 轴最大进给量：2.0，其余参数均默认。



注：

步骤 7）、8）主要是为了 30° 斜面、侧直壁面和 *R* 圆角面，图 7-28、图 7-30 的加工面如果全选，从刀具路径模拟中可以发现两个问题：①间隙设定如果默认，则会导致频繁抬刀，影响效率；②间隙设定如果改大一点，则又容易伤及 *R*100 的上表面弧面，效果均不好，所以分开为两步加工。

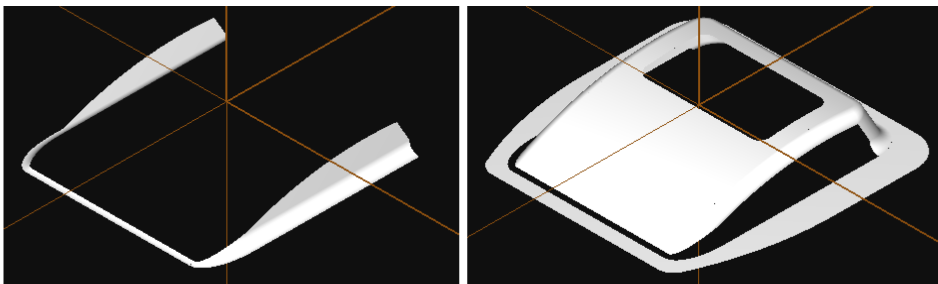


图 7-30　步骤 8）的加工面和干涉面

9）打开第 5 层，选择“曲面精加工－平行铣削”，继续选择ϕ6*R*3 球刀，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 7），设定加工的曲面/实体预留量：0，加工面如图 7-31 左所示，不选择干涉面，不选择切削范围；在“平行铣削精加工参数”选项卡，设定最大切削间距：0.15，加工角度：45°，单击“间隙设定”，在“刀具路径的间隙设定”对话框，点选“距离”，设定为 3.6，勾选“切削顺序最佳化”，其余参数均默认，如图 7-32 所示。

10）关闭第 5 层，复制步骤 9），加工面选择图 7-31 右所示，在“平行铣削精加工参数”选项卡，将加工角度改为 0°，勾选“限定深度”，设定最高位置：0.0、最低位置：–13.0，其余参数默认，如图 7-33 所示。

11）新建群组“钻孔 D6”，选择“钻孔”，从刀库中选择ϕ6 钻头，图形选择 4×ϕ6 孔，在“刀具参数”选项卡，设定进给率：100、主轴转速：1200，勾选：喷油；钻孔方式选择“深孔钻－无啄钻”，设定参考高度：5.0、工件表面：–13.0、深度：–18.0、均点选“绝对坐标”，勾选“刀尖补偿”，其余参数均默认，如图 7-34 所示。工件设定为 X81 Y81 Z18，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 7-35 所示。将图形保存为“7-2. MC9”文件。



注：

本例的主要特点在补面，通过打开或关闭层来显示或者隐藏补面，从而控制加工过程，这是一种常见的工艺方法。

本例马鞍形面的加工采用了平行铣削的方式，采用等高轮廓或者其他方式都不够好，有兴趣的读者可以自己验证一下。

此外，本例的工件设定只是理想状态，没有考虑零件的装夹问题，实际考证过程常用毛坯厚度 30mm 的材料，加工正面即为合格。在实际生产中，30mm 厚的毛坯显然是一种浪费，由于底部厚度只有 5mm，装夹上存在一定困难，可能会用到专用夹具来正反双面加工，这一点请读者思考。

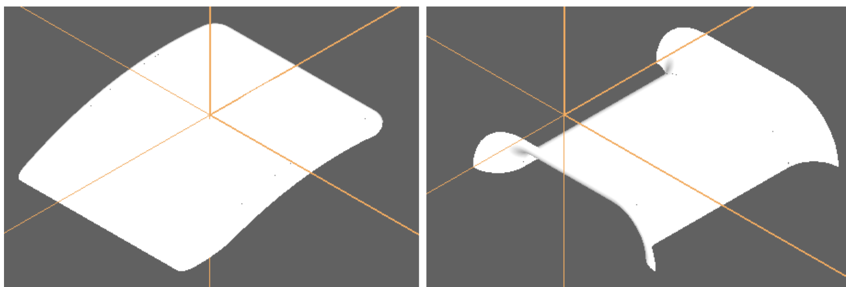


图 7-31　步骤 9)、10) 的加工面

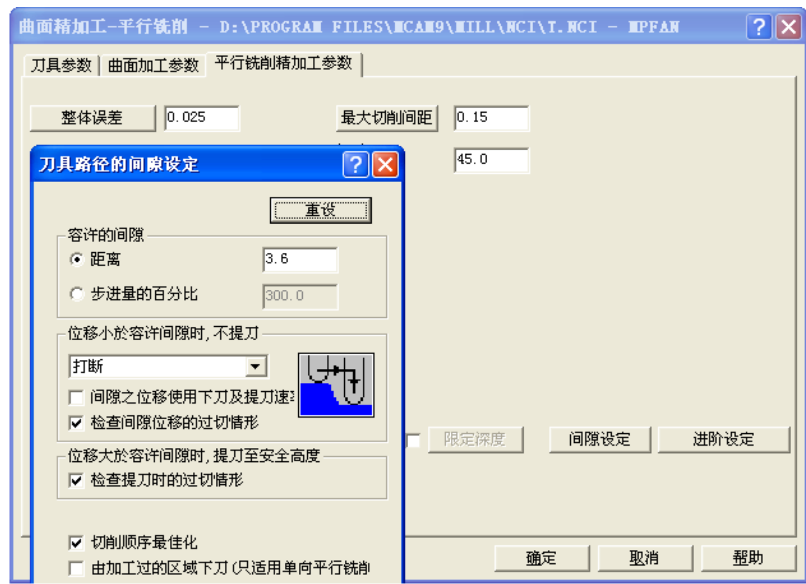


图 7-32　步骤 9) 平行铣削参数和刀具路径间隙设定

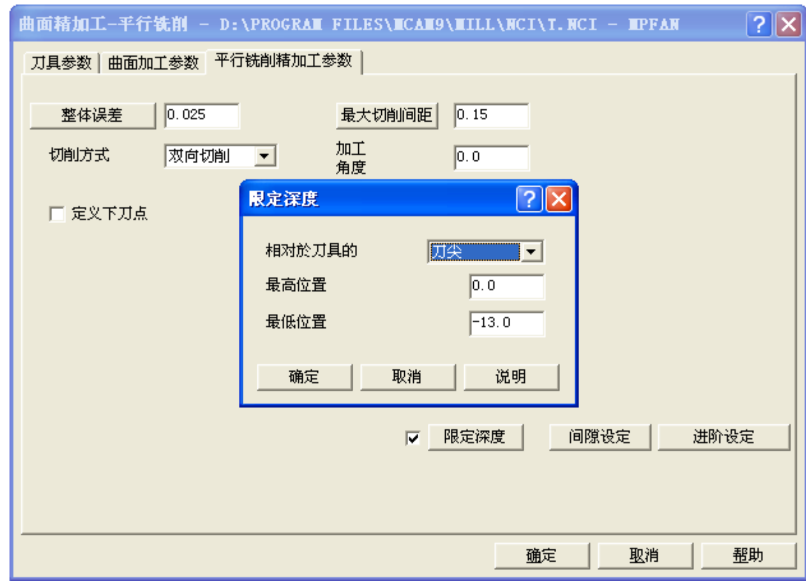


图 7-33　步骤 10) 平行铣削精加工参数

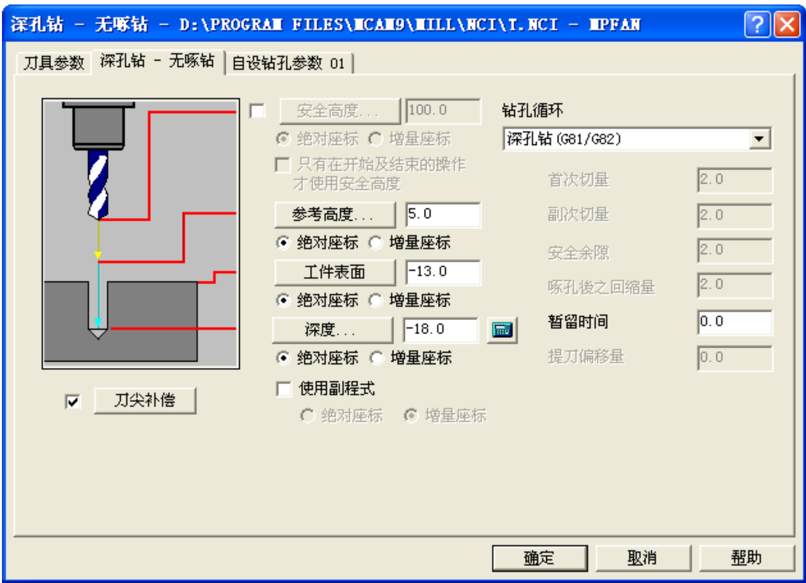


图 7-34　步骤 11）等高外形精加工参数

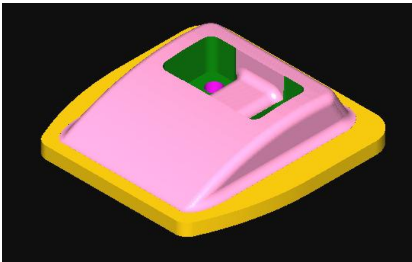


图 7-35　零件 2 实体切削验证

7.7　零件 3 的工艺分析

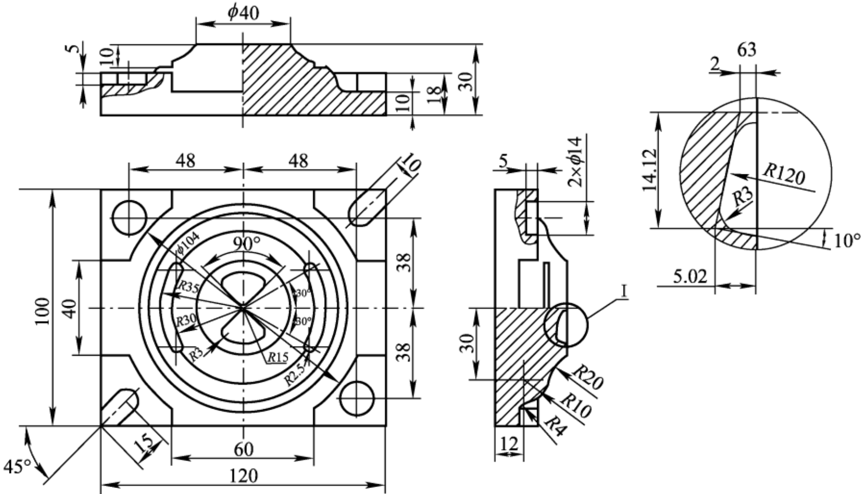


图 7-36　零件 3

技术要求：

1．以小批量生产编程。

2．未注公差尺寸按 GB/T 1804—m。

毛坯尺寸：120mm×100mm×30mm

本例的特点是建模较为复杂，特别是两个扇形浅平面挖空部分，刀具路径编辑上主要考虑较窄空间内是否能够下刀，如果选用直径ϕ8 以上平刀，*R*52 圆弧底面与周边空间较窄，不易下刀；另外，也需要用到补面来控制加工过程，图 7−36 中两个 60°圆弧形槽直接采用成形刀具走直线较好。综合考虑工艺复杂性和工作效率，选择ϕ8、ϕ5 平刀，ϕ6*R*2.5 球刀加工。

7.8　零件 3 的 CAD 建模

操作步骤如下：

1）设定第 1 层为作图层，取层名：line1；设定作图深度：Z0，以原点为圆心，作圆ϕ30；单击“绘图”“直线”“极坐标线”，选择“原点”为起始位置，分别输入角度：45°、135°、225°、315°，输入线长：20，修剪各处，完成图形如图 7−37 所示。

2）同理，以原点为圆心，作圆ϕ65；单击“绘图”“直线”“极坐标线”，选择“原点”为起始位置，分别输入角度：30°、150°、210°、330°，输入线长：40，修剪各处，完成两侧 *R*32.5 的圆弧，如图 7−37 所示。

3）设定新的作图深度 Z-30，以原点为抓点方式作矩形 120×100。

4）设定新的作图深度 Z-12，分别以 X–48 Y38、X48 Y–38 为圆心，作圆ϕ14；单击“绘图”“直线”“极坐标线”，分别以 X60 Y50、X–60 Y–50 为起始位置，输入角度：45°，输入线长：15，做出两条极坐标线。

5）单击“转换”“单体补正”，设定补正距离：5，分别将上述两条极坐标线补正两处，并朝矩形外侧延伸 3mm，以两点画圆的方式分别以直线的端点作圆 2×ϕ10，修剪各处并封闭图形，完成图形如图 7−38 所示。

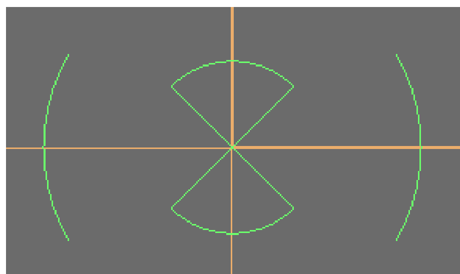


图 7−37　步骤 1)、2）模型

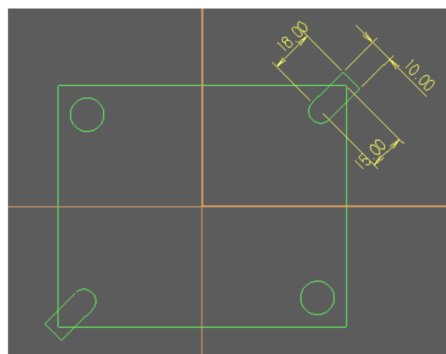


图 7−38　步骤 3）～5）模型

6）设定新的作图深度 Z-20，以原点为抓点方式作矩形 120×100、140×40、60×120，以原点为圆心，作圆ϕ104，修剪各处，完成图形如图 7−39 左所示，步骤 1）～6）图形如图 7−39 右所示。

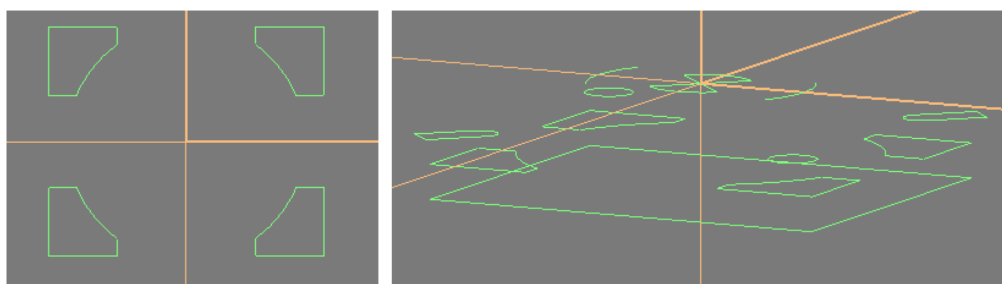


图 7-39 步骤 1）～6）模型

7）新建第 2 层，设定层名称“line2”，关闭第 1 层，将视图切换到“前视图”，设定作图深度 Z0；以原点为抓点方式作矩形 50×30，点的位置点选“左上”，以任意点为第一端点作水平线，Y 坐标为–20、长度任意，与该矩形相交；以点 X30 Y–18 为圆心作圆ϕ20；单击“圆弧”“切弧”“经过一点”，圆弧要切的物体选择ϕ20 圆，输入经过点：X20 Y0，输入半径：20，选择所要的圆弧，单击鼠标左键确定；同理，单击“圆弧”“切弧”“切两物体”，分别选择ϕ20 圆和 Y–20 的水平线，半径 *R*4，选择所要的圆弧，单击鼠标左键确定；修剪各处，完成图形如图 7-40 左所示。

8）单击“圆弧”“两点画弧”，输入第一点 X0 Y–2，第二点 X14.12 Y–5.02，输入半径 *R*120，作垂直线 X0 和 X17，作水平线 Y-8，修剪延伸各处，完成图形如图 7-40 右所示。

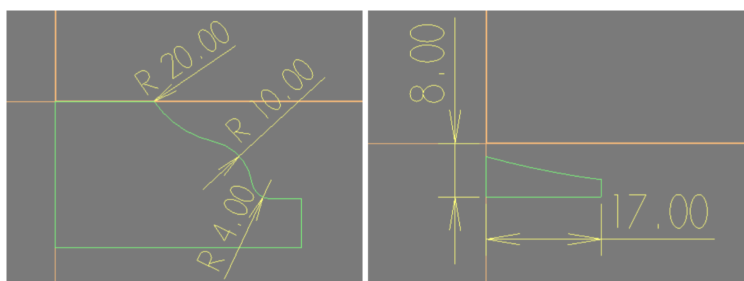


图 7-40 步骤 7）～8）模型

9）新建第 3 层，设定层名称“solid”，设定作图颜色：9 号蓝色，将第 3 层设为当前层并打开所有层。单击“实体”“挤出”“串联”，选择矩形 120×100，方向“上”，距离：10，单击“确定”建立实体。

10）单击“实体”“挤出”，图形选择图 7-39 左图形的 4 个串联，距离：8，点选“增加凸缘”；单击“实体”“旋转”，选择图 7-40 左图形，点选“增加凸缘”；起始角度：0°，终止角度：360°，旋转轴选择 Z 轴。

11）单击“实体”“挤出”，以“单体”方式选择图 7-37 扇形两处，在“实体挤出设定“对话框，点选“切割主体”，勾选“增加拔模角”，设定角度：10.0，距离：6.0，如图 7-41 所示。



注：

如果不勾选“增加拔模角”，实体挤出会报错。

12）单击“实体”“旋转”，选择图 7-40 右图形，点选“增加凸缘”；起始角度：0°，终止角度：360°，旋转轴选择 Z 轴；单击“实体”，“导圆角”，按图样要求选择扇形内部各边导圆角 *R*3；单击“实体”“挤出”，图形选择 2×ϕ14 圆和两处封闭半圆槽形，如图 7-38 所示，点选“切割主体”，距离：5。

13）新建层：4，设定名称：surface1，颜色为 11 号青色，将第 4 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“由实体产生”，选择刚才所建的实体，产生曲面，并关闭第 3 层。

14）新建层：5，设定名称：surface2，颜色为 12 号红色，将第 5 层设为当前层。在“绘图”菜单里，单击“曲面”“曲面修整”“填补内孔”选择 2×ϕ14 和扇形孔 4 处，产生补面，最终效果如图 7-42 所示。

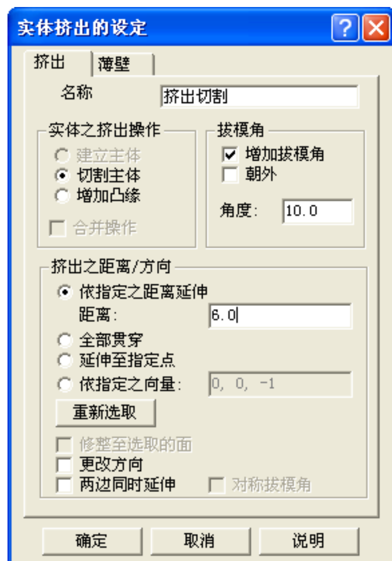


图 7-41　步骤 11）的实体挤出设定

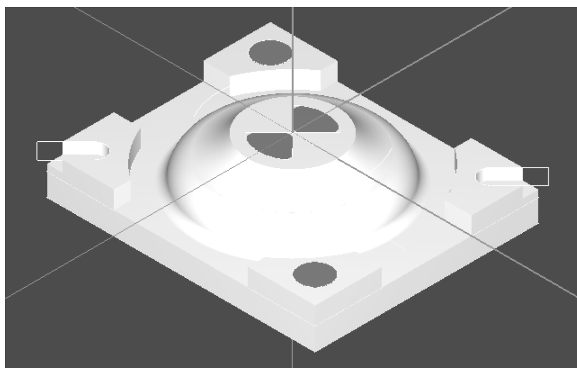


图 7-42　零件 3 的 CAD 建模

7.9　零件 3 的刀具路径编辑

操作步骤如下：

1）新建操作群组 D8，选择“曲面粗加工—挖槽”，从刀库中选择ϕ8 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：1500、下刀速率：750、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30.0，进给下刀位置：3.0，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，加工图形选择所有的曲面，切削范围选择矩形 120×100，设定加工的曲面/实体预留量：0.3，刀具的切削范围点选“外”，如图 7-43 所示；在“粗加工参数”选项卡，输入 Z 轴最大进给量：0.6，勾选“切削范围外下刀”，单击“切削深度”，点选“绝对坐标”，设定最高位置：0、最低位置：–20，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认；在“挖槽参数”选项卡，选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75.0，其余默认，如图 7-44 所示。

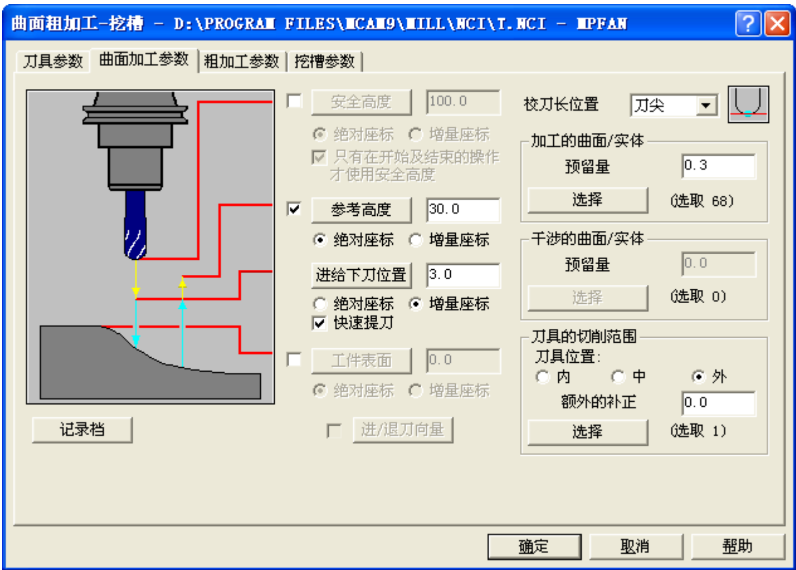


图 7-43　步骤 1）曲面加工参数



图 7-44　步骤 1）挖槽参数

2）将第 1 层设为当前层，关闭第 5 层。选择“外形铣削（螺旋式渐降斜插）”，继续选择ϕ8 平刀，图形选择 2×ϕ14 孔，进给率改为 600，下刀速率改为 300，其余刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 1），工件表面：–12.0，深度：–17.0，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右；在“外形铣削的渐降斜插”对话框，点选“深度”，设定斜插深度：0.4，勾选“在最终深度补平”，其余默认，如图 7-45 所示。

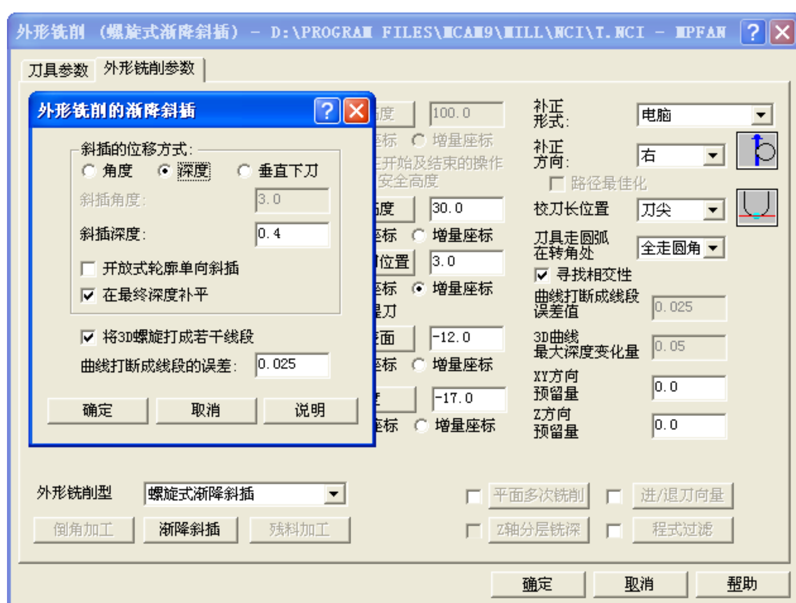


图 7-45　步骤 2）外形铣削参数

3）选择“面铣”，继续选择ϕ 8 平刀，图形选择图 7-39 左所示，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2），工件表面：–12.0，深度：–12.0，其余默认，如图 7-46 所示。

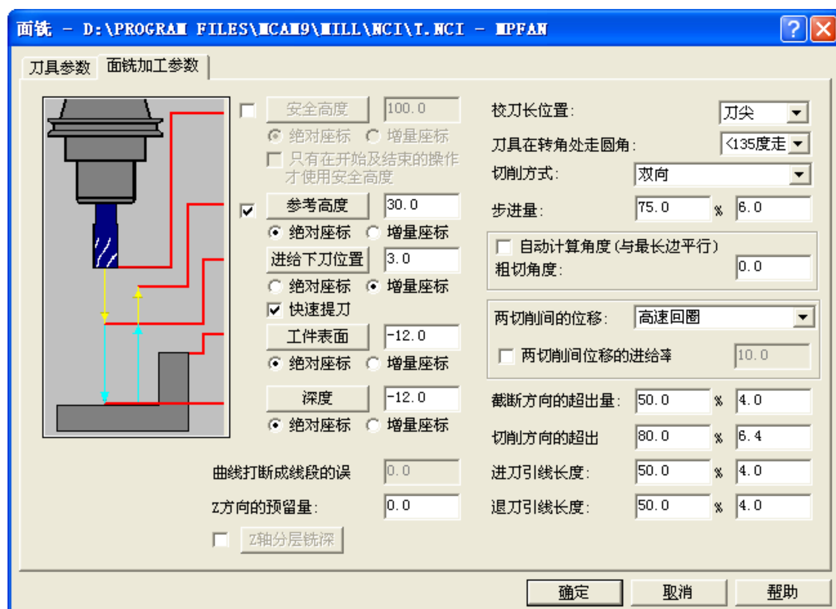


图 7-46　步骤 3）面铣参数

4）选择“外形铣削（2D）”，刀具参数、参考高度和进给下刀位置等均同步骤 2），选择部分串联加工半圆槽形两处，如图 7-48 所示，工件表面：–17.0，深度：–17.0，XY 方向预留量：0.0，Z 方向预留量：0.0，补正形式选择“电脑”，补正方向：右，勾选“进/

退刀向量”，参数默认，刀具路径模拟如图 7-48 所示。

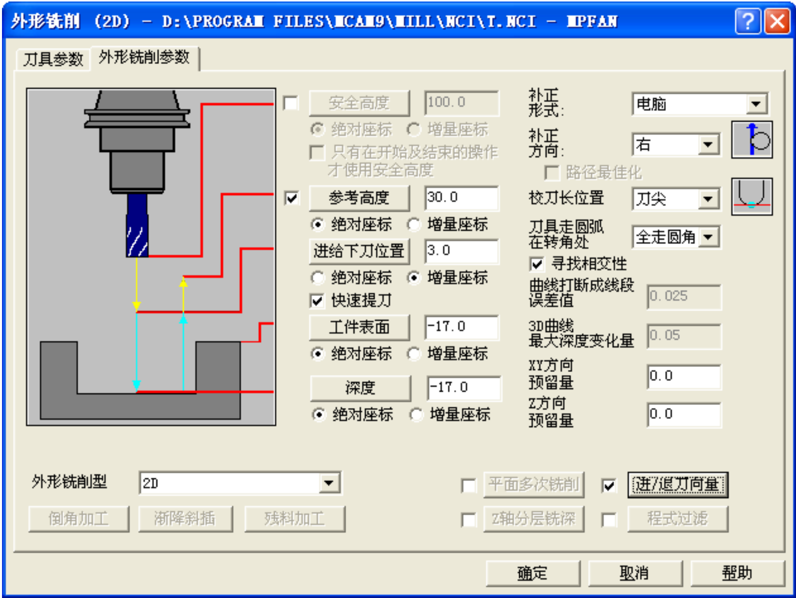


图 7-47　步骤 4）外形铣削参数

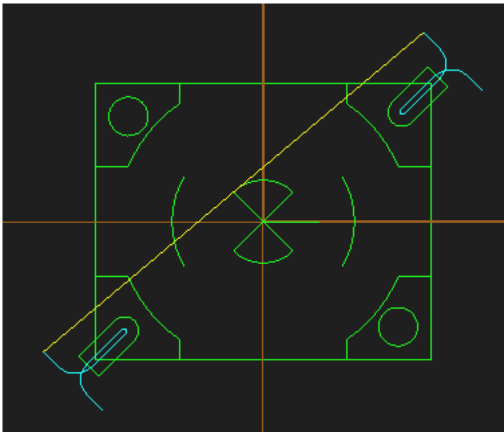


图 7-48　步骤 4）刀具路径模拟

5）新建操作群组 D5，选择“曲面粗加工—等高外形”，从刀库中选择ϕ5 平刀，在“刀具参数”选项卡设定进给率：1000、下刀速率：500、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡，输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，设定加工的曲面/实体预留量：0.15，干涉的曲面/实体预留量：0，加工面的选择如图 7-49 左所示，干涉面的选择如图 7-49 右所示，不选择切削范围；在“等高外形精加工参数”选项卡，设定 Z 轴最大进给量：0.3，勾选“切削顺序最佳化”和“减少插刀情形”，单击“间隙设定”，在“刀具路径的间隙设定”对话框，点选“距离”，设定为 3.6，其余参数均默认，如图 7-50 所示。

6）复制步骤 5），加工面的选择如图 7-51 左所示，干涉面的选择如图 7-51 右所示，其余参数均默认。

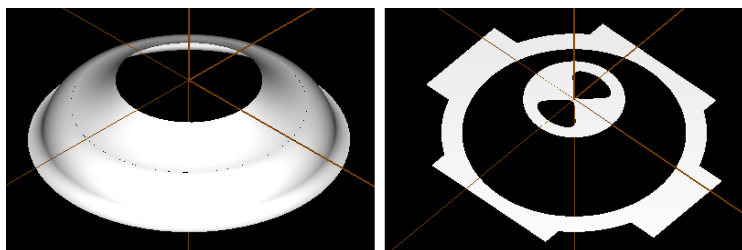


图 7-49　步骤 5）加工面和干涉面的选择

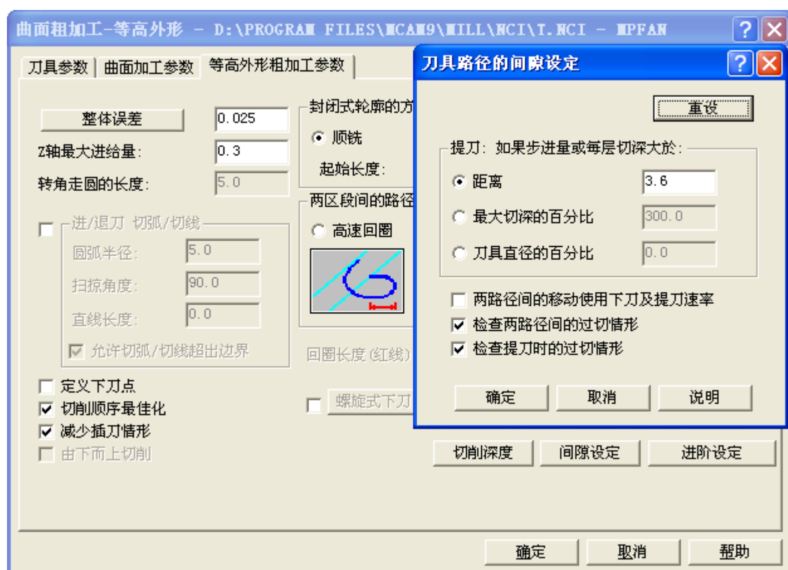


图 7-50　步骤 5）等高外形粗加工参数

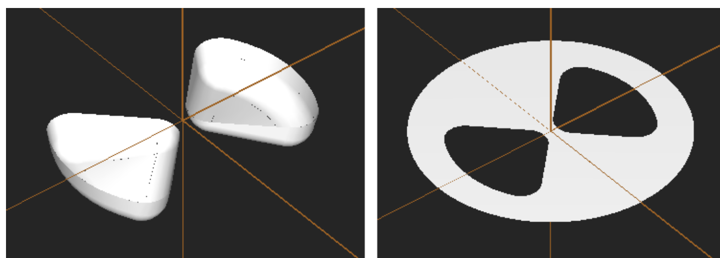


图 7-51　步骤 6）加工面和干涉面的选择

7）选择“曲面粗加工—挖槽”，继续选择ϕ5 平刀，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：600、下刀速率：300、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，图形选择所有的曲面，切削范围选择 120×100 矩形，设定加工的曲面/实体预留量：0，刀具的切削范围点选“外”，额外补正：2，如图 7-52 所示；在“粗加工参数”选项卡，输入 Z 轴最大进给量：0.6，勾选“切削范围外下刀”，单击“切削深度”，在“切削深度的设定“对话框中，点选“绝对坐标”，设定最高位置：–20、最低位置：–20，勾选“自动调整加工面的预留量”，其余参数均默认；在“挖槽参数”选项卡，选择“等距环切”，设定切削间距（直径%）：75.0，

其余默认。

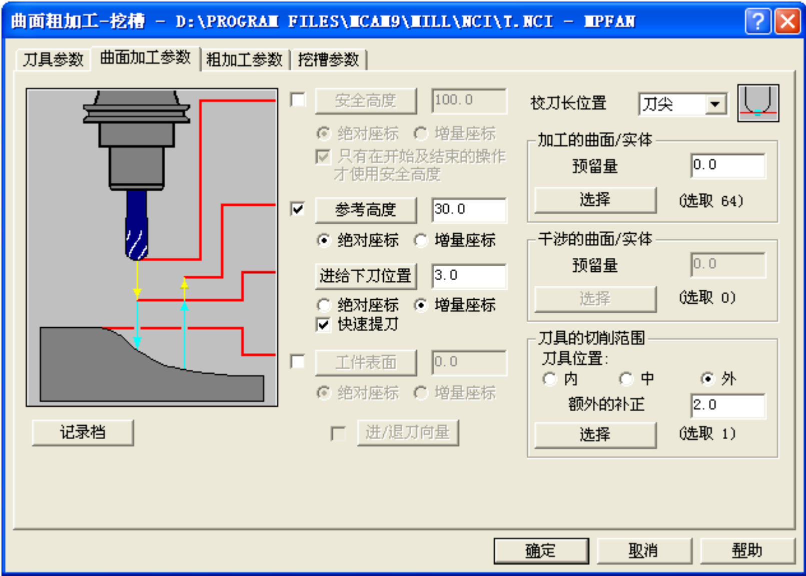


图 7-52　步骤 7）曲面加工参数

8）选择“外形铣削（2D）”，图形选择如图 7-55 所示，在“刀具参数”选项卡中输入进给率：400、下刀速率：100、提刀速率：2000、主轴转速：2500，勾选：喷油；在“外形铣削参数”选项卡中输入参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，工件表面：–7.5，深度：–10，XY 方向预留量：0，Z 方向预留量：0，补正形式选择“关”，勾选“Z 轴分层铣深”，不勾选“进/退刀向量”，其余参数默认，如图 7-53 所示；在“Z 轴分层铣深设定”对话框，设定最大粗切深度：0.3，其余默认，如图 7-54 所示，刀具路径模拟如图 7-55 所示。

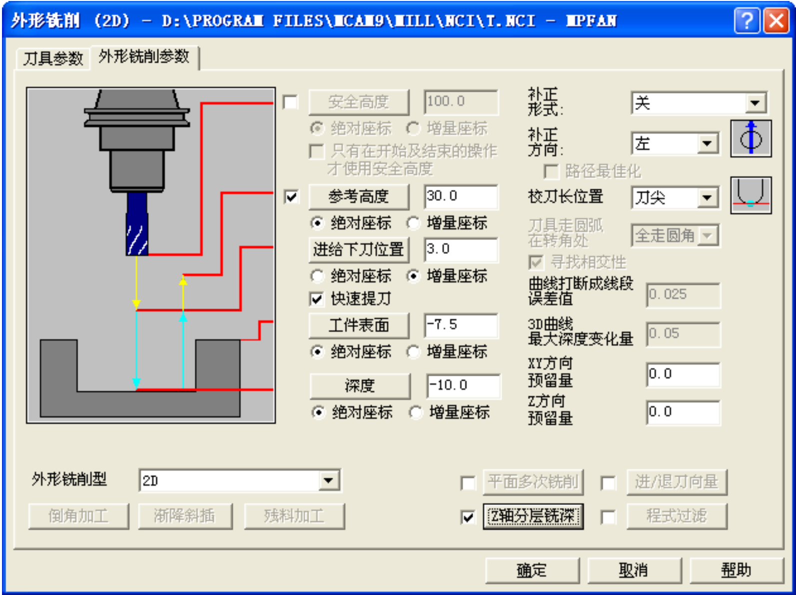


图 7-53　步骤 8）外形铣削参数

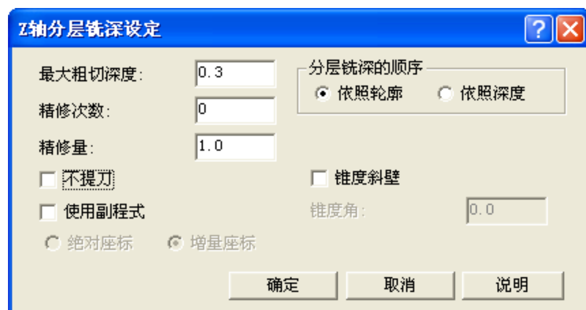


图 7-54　步骤 8）的 Z 轴分层铣深设定

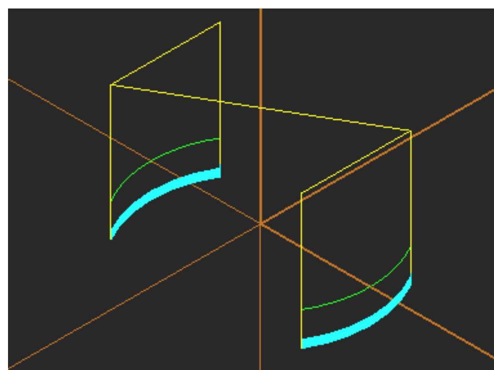


图 7-55　步骤 8）刀具路径模拟

9）新建群组 D6R2.5，从刀库中选择ϕ 6*R*2.5 的球刀，选择“环绕等距”加工方式，加工面和干涉面的选择与步骤 5）相同，在“刀具参数”选项卡，输入进给率：800、下刀速率：400、提刀速率：2000、主轴转速：3000，勾选：喷油；在“曲面加工参数”选项卡，设定参考高度：30、进给下刀位置：3，点选“增量坐标”，勾选“快速提刀”，加工的曲面/实体预留量：0，干涉的曲面/实体预留量：0；在“3D 环绕等距参数”选项卡，设定整体误差：0.02，过滤的比率为 1:1，勾选“由内而外环切”“切削顺序依照最短距离”，设定最大切削间距：0.15，单击“间隙设定”，容许的间隙点选“距离”，设定为 360，勾选“切削顺序最佳化”，其余参数默认，如图 7-56 所示。

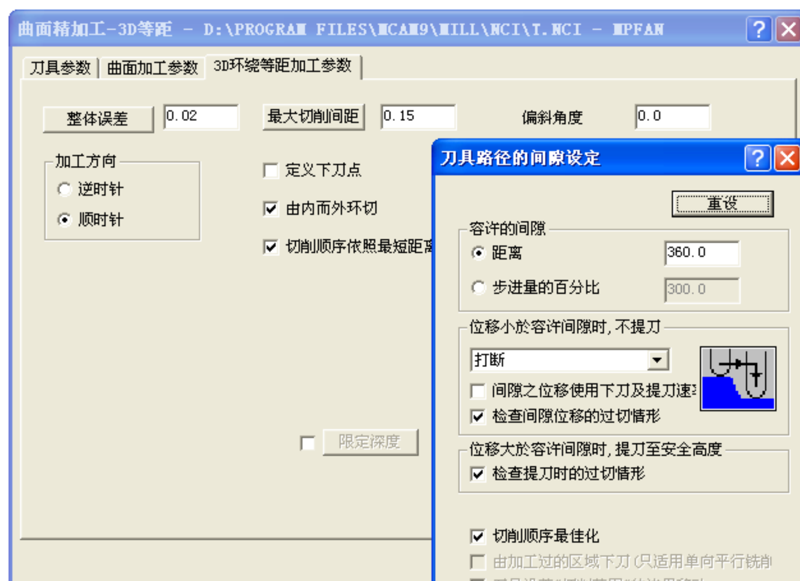


图 7-56　步骤 9）环绕等距加工参数和刀具路径间隙设定

10）复制步骤 9），加工面和干涉面的选择与步骤 6）相同，在“刀具参数”选项卡，将下刀速率改为 100，在“3D 环绕等距参数”选项卡，取消勾选“由内而外环切”“切削顺序依照最短距离”，在“刀具路径的间隙设定”对话框，容许的间隙点选“距离”，设定改为 3.6，其余参数均同步骤 9），如图 7-57 所示。工件设定为 X120 Y100 Z30，工件原点 X0 Y0 Z0，实体切削验证如图 7-58 所示。将图形保存为“7–3. MC9”文件。

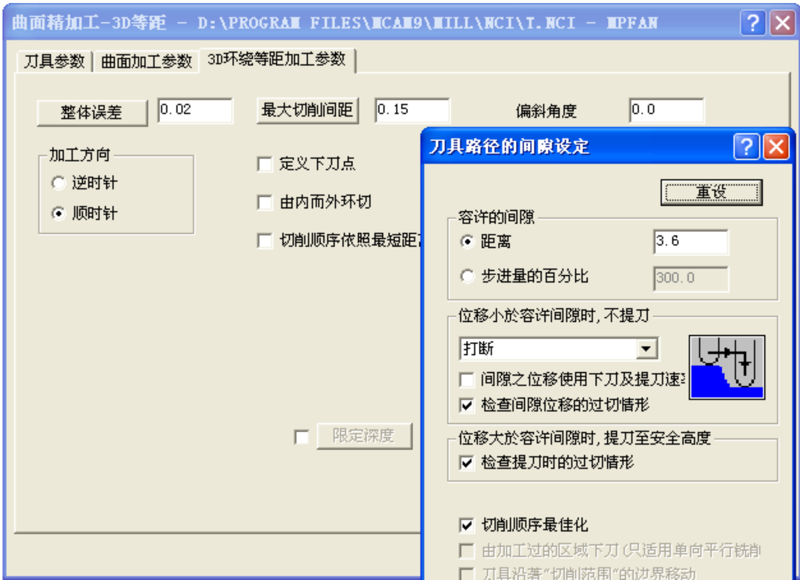


图 7-57　步骤 10）环绕等距加工参数和刀具路径间隙设定

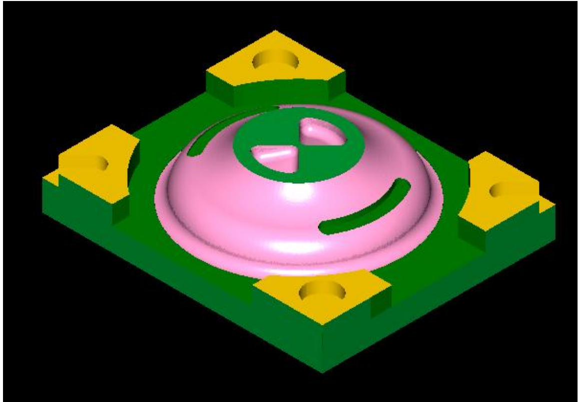


图 7-58　零件 3 实体切削验证



注：

本例是前面几种建模和加工方法的综合运用。需要指出的是，一般情况下，CAD 曲面建模在实体阶段导圆角，能够用二维外形铣削加工的则在二维线框阶段导圆角。

本 章 小 结

本章是前 6 章的综合运用，从建模到加工是一个完整的过程，最终目的是加工出符合图样要求的零件。从零件模型特征来讲，大部分都是二维直线、平面和三维曲面的混合体，模具、汽车行业，零件三维曲面特征多一些；其他机械行业，零件的二维直线、平面特征多一些。这就要求加工人员要充分考虑零件特征，寻找合理而有效的建模和加工方法。

附　　录

附录 A　Mastercam V9.1 命令解说一览表

主菜单说明

Analyze　分析	分析并显示屏幕上图素的有关信息
Create　绘图	绘制图素，建立 2D、3D 几何模型并完成工程作图
File　档案	与文件有关的操作，包括文件的查询、存取、编辑、浏览、打印、图形文件的转换、NC 程序的传输等
Modify　修整	修改几何图形，包括倒圆、修整、打断、连接、延伸、改变曲面法向、动态移位等
Xform　转换	对图素或图素群组作图形变换，包括镜像、旋转、平移、单体补正、串联补正等
Delete　删除	删除图形或恢复图形
Screen　屏幕	改变屏幕上图素的显示属性
Solids　实体	生成实体模型，包括用挤出、旋转、扫掠、举升、倒圆角、倒角、薄壳、牵引、修整及布尔运算方法生成实体，以及实体管理
Toolpaths　刀具路径	生成 2D、3D 的刀具路径和 NC 程序，包括处理二维外形铣削、钻孔等点位加工、带岛的挖槽加工、单曲面加工、多重曲面加工、投影曲面铣削、线框模型处理 3D 加工以及操作管理、工作设定等
NC utils　公用管理	包括实体验证、路径模拟、批处理加工、程序过滤、后处理、加工报表、定义操作、定义刀具、定义材料等

辅助菜单说明

Z　Z 值	设置工作深度 Z 值
Color　作图颜色	设定绘制图形的颜色
Level　作图层别	设定绘制图形的图层
Attribute　图素属性	设置绘制图形的颜色、层别、线型、线宽、点的形式等属性及对各种类型图素的属性管理
Groups　群组设定	将多个图素定义为一群组
Mask　限定层	限定层即设定系统认得出的图层，例如限定某一层，则绘制在该层的图素才能被选择，完成诸如分析、删除等操作；设置 OFF，则系统可以认得出任何一个图层的图素
WCS　世界坐标系	设置系统视角管理，常用在图形文件转换时。当有些构图面和视角与 Mastercam 软件不兼容时，可将其图素转正
Plane　刀具平面	设定表示数控机床坐标系的二维平面
C Plane　构图平面	建立工作坐标系，包括建立空间绘图、俯视图、主视图、侧视图、视角号码、名称视角、图素定面、旋转定面、法线面等
Gview　视角	设定图形观察视角

构图平面说明

3d	3d 空间绘图
Top	俯视面
Front	主视面
Side	侧视面
Number	视角号码，1～8 为系统默认，9 以上为用户新设定
Named	依系统视角管理中的 WCS 定面
Entity	图素定面，可以选一个圆弧、二条线段、三个点或实体平面来定面
Rotate	旋转定面，当前平面绕着坐标轴旋转产生新的构图面
Last	前一次选择的面
Normal	法线面，选择一条线段作为构图面的法向矢量
=Gview	同视角 Gview 设定的面相同
=Tplane	同刀具平面 Tplane 设定的面相同
+xz	适于车床，以半径计 X 轴
-xz	适于车床，以半径计 X 轴，X 轴反置
+dz	适于车床，以直径计 X 轴
-dz	适于车床，以直径计 X 轴，X 轴反置

图形视角说明

Top	俯视图
Front	主视图
Side	侧视图
Isometric	等角视图
Number	根据视角号码来确定视角
Named	依系统视角管理确定视角
Entity	图素定面
Rotate	旋转定视角
Dynamic	动态视角，可以动态旋转、缩放、平移和任意改变视角
Last	前一次选择的视角
Mouse	鼠标定视角，可以旋转、缩放、平移和任意改变视角
Normal	法线定视角
=Cplane	以构图面设定的面作为视角
=Tplane	以刀具平面设定的面作为视角

Create 绘图命令（一）

Point　点	Origin	原点（0，0）		
	Center	一圆弧的圆心点		
	Endpoint	一图素的端点		
	Intersec	两图素的交点		
	Midpoint	一图素的中点		
	Point	已存在点		
	Last	前一次操作点		
	Relative	对某一已知点的相对点	Rectang	直角坐标方式
			Polar	极坐标方式
	Quadrant	圆四分之一处的点		
	Sketch	任意点		

（续）

Point　点	Position　指定位置		生成指定位置上的点
	Along ent　等分绘点		沿着一个图素，生成一系列等距离的点
	Node pts　曲线节点		生成参数样条曲线（Parametric Spline）的节点
	Cpts NBS　控制点		生成非均匀 B 样条曲线（NURBS）的控制点
	Dynamic　动态绘点		沿着一个图素，使用选点设备，动态生成一系列点
	Length　指定长度		沿着一个图素，与端点一定距离生成一个点
	Slice　剖切点		生成一平面与不共面的线、弧、样条曲线间的交点
	Srf project　投影至面		生成投影到曲面上的投影点（沿着曲面法向或垂直于构图平面投影）或生成通过投影点沿着曲面法向及给定长度的一矢量线
	Prep/Dist　法向/距离		生成与一直线、圆弧或曲线法线上的相距给定距离的点
	Grid　网格点		生成一系列网状点
	Bolt circle　圆周点		生成分布在一圆弧上的等分点
	Small arcs　小弧圆心		生成小于给定半径的圆弧的圆心点
Line　线段	Horizontal　水平线		生成与 X 轴平行的线
	Vertical　垂直线		生成与 Y 轴平行的线
	Endpoint　两点画线		生成通过两点的线
	Multi　连续线		生成通过一组点的折线
	Polar　极坐标线		给一任意点，角度及长度
	Tangent　切线	Angle	给一个角度和长度，与一曲线相切的线
		2 Arcs	与两圆弧相切的线
		Point	通过一点，与一曲线平行的线
	PeRpendclr　法线	Point	通过一点，与一曲线垂直的线
		Arc	与一直线垂直，与一圆弧相切的线
	ParalleL　平行线：与一直线平行	Slide/dist	给出方向和距离
		Point	给出一点，平行线通过该点
		Arc	与一圆弧相切
	Bisect　分角线		生成两线的角平分线
	Closest　连近距线		在两曲线之间，生成一条最短距离的线
Arc　圆弧	Polar　极坐标	Ctr point	给出圆心点、半径值、起始角度值、终止角度值，绘制圆弧
		SKetch	给出圆心点、半径值，用鼠标选取起始角度和终止的位置生成圆或圆弧
		Strt point	给出起始点及半径值、起始角值、终止角值，生成圆或圆弧
		End point	给出终止点及半径值、起始角值、终止角值，生成圆或圆弧
	Endpoint　两点画弧		给出两端点及半径值，生成四个圆弧，选中其中一个
	3 Points　三点画弧		通过给出的三点，生成圆弧
	Tangent　切弧	1 entity	与一图素相切，给出一点（近切点）和半径，生成四个半圆，选中其中一个
		2 entities	与两图素相切，给出半径，生成一整圆
		3 entities	与三个图素相切，生成一切弧
		Ctr line	与两条相交直线中的一条直线相切，另一条直线通过圆心，给出半径，生成两整圆，选中其中一个
		Point	通过一点，与一图素相切，给出半径，生成四个圆弧，选中其中一个

（续）

Arc 圆弧		Tangent 切弧	Dynamic	与一图素相切，动态给出其相切点，并动态生成一圆弧
		2pt cir 两点画圆	给定两点为一直径，生成一个圆	
		3pt cir 三点画圆	通过给定三点，生成一个圆	
		pt Rad cir 点半径圆	给出圆心、半径，生成一个圆	
		pt Dia cir 点直径圆	给出圆心、直径，生成一个圆	
		pt edG cir 点边界圆	给出圆心和圆上一点，生成一个圆	
Fillet 倒圆角	对两个图素作倒圆角处理			
	选择参数	Radius	半径值	
		Angle<180	L	生成的圆弧小于 180°
			F	生成一整圆
		Trim Y/N	是否修整掉多余的	
		Chain	对一封闭图形的每一个转角处倒圆角	
		CW/CCW 连续倒圆的串联方式	P	只倒出逆时针方向的圆角
			N	只倒出顺时针方向的圆角
			A	所有方向都倒圆角
Spline 样条曲线	选择参数	Type P/N 曲线形式	参数式样条曲线/非均匀有理 B 样条曲线	
		Manual 手动	手动输入一组点	
		Automatic 自动	自动选取已存在的一组点	
		Ends Y/N 端点状态	选 Y 时，可调整曲线的起、终点斜率	
		Curve 转成曲线	把多条头尾相接的曲线连接生成一条样条曲线	
		Blend 熔接	在两条曲线之间，光滑顺接一条样条曲线	
Curve 曲面曲线		Cunst param 常参数（指定位置）	生成曲面或实体面上选定点的 u 方向、v 方向或 uv 两个方向上的曲线	
		Patch bndy 缀面边线	生成参数曲面上的多组 uv 网格参数曲线	
		Flowline 曲面流线	生成曲面或实体面上选定点的 u 或 v 方向上若干组曲面曲线和参数曲线（给出曲线数量或间距）	
		Dynamic 动态绘线	动态选取曲面或实体面上若干点组成的曲线	
		Slice 剖切线	生成曲面和定义平面按给定间距的若干条交线	
		Intersect 交线	生成两组相交曲面间的交线	
		Project 投影线	生成曲线在曲面上的投影线。投影方向可以垂直于曲面或构图面	
		Part line 分模线	生成曲面与构图面有关的分模线	
		One edge 单一边界	生成曲面的一条指定的边界线	
		All edges 所有边界	生成曲面所有的边界线	
Surface 曲面		Loft 举升曲面	由多个曲线段（断面外形）以抛物线形式熔接而成的曲面	
		Coons 昆氏曲面	以熔接由四个边界曲线形成的许多缀面而形成的曲面	
		Ruled 直纹曲面	由多个曲线段（断面外形）以直线形式熔接而成的曲面	
		Revolve 旋转曲面	断面形状沿着轴或某一直线旋转而形成的曲面	
		Sweep 扫描曲面	若干个截断外形（Across）沿着若干个引导曲线（Along）运动而形成的曲面	
		Draft 牵引曲面	断面形状沿着直线笔直地挤出而形成的曲面，用于构建圆柱、圆锥、有拔模斜度的模型	
		Fillet 曲面倒圆角	对两组相交的曲面之间的公共边倒圆角，以在曲面之间产生光滑平顺的圆角曲面	
		Offset 曲面补正	对某一曲面进行等距离偏置，从而产生一个新的曲面	

（续）

<table>
<tr><td rowspan="6">Surface　曲面</td><td>Trim/Extend　曲面修整/延伸</td><td colspan="2">把一组已存在的曲面修整（延伸）到指定的曲面或曲线</td></tr>
<tr><td>2 Surf blnd　两曲面熔接</td><td colspan="2">在两个曲面之间生成相切光滑的过渡曲面</td></tr>
<tr><td>3 Surf blnd　三曲面熔接</td><td colspan="2">在三个曲面之间生成相切光滑的过渡曲面</td></tr>
<tr><td>Fillet blnd　圆角熔接</td><td colspan="2">对三个相交的曲面之间的公共角落作圆角熔接</td></tr>
<tr><td>Primitive　实体曲面</td><td colspan="2">生成基本实体（圆柱、圆锥、立方体、圆球、圆环、挤出）表面的曲面</td></tr>
<tr><td>From solid　由实体产生</td><td colspan="2">从现有的实体产生实体表面的曲面</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Rectangle　矩形</td><td>1 point</td><td colspan="2">输入一特殊点，给出宽度、高度</td></tr>
<tr><td>2 point</td><td colspan="2">输入对角两点</td></tr>
<tr><td>Options</td><td colspan="2">选项，可以生成矩形、键槽形、D 形、双 D 形和椭圆形</td></tr>
<tr><td rowspan="19">Drafting　尺寸标注</td><td>Regenerate</td><td colspan="2">重新建立、重新修改或移动尺寸位置</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Dimension　标注尺寸</td><td>Horizontal
水平标注</td><td>尺寸线平行于 X 轴</td></tr>
<tr><td>Vertical
垂直标注</td><td>尺寸线平行于 Y 轴</td></tr>
<tr><td>Parallel
平行标注</td><td>尺寸线平行于两个端点连线</td></tr>
<tr><td>Baseline
基准标注</td><td>选一条线性尺寸线作为基准，以后生成的尺寸线均以该基准线一端点引出尺寸线</td></tr>
<tr><td>Chained
串联标注</td><td>选一条线性尺寸线，以后生成的尺寸线均以该基准线一端点引出尺寸线</td></tr>
<tr><td>Circular
圆弧标注</td><td>标注直径或半径</td></tr>
<tr><td>Angular
角度标注</td><td>从第一条线逆时针转到第二条线作为夹角大小</td></tr>
<tr><td>Tangent
相切标注</td><td>标注圆弧与点、直线或圆弧的水平相切标注或垂直相切标注</td></tr>
<tr><td>OrdinaTe
顺序标注</td><td>以第一条线作为基准，顺序标出相对于基准的尺寸值</td></tr>
<tr><td>Point
点标注</td><td>标注点的 X、Y、Z 坐标值</td></tr>
<tr><td>Note　文字注解</td><td colspan="2">例如 ABC</td></tr>
<tr><td>Witness　延伸线</td><td colspan="2">生成尺寸界线</td></tr>
<tr><td>Leader　引导线</td><td colspan="2">生成一个单箭头引线</td></tr>
<tr><td>Lable　标签抬头</td><td colspan="2">键入文字，指定文字位置和箭头位置</td></tr>
<tr><td>Multi edit　多重编辑</td><td colspan="2">对尺寸的多项属性进行编辑</td></tr>
<tr><td>Edit Text Y/N　编辑文字</td><td colspan="2">Y 时，可改变尺寸数值；N 时，可改变尺寸位置</td></tr>
<tr><td>Hatch　剖面线</td><td colspan="2">剖面线</td></tr>
<tr><td>Globals　整体设定</td><td colspan="2">全局设定尺寸标注的各项属性</td></tr>
</table>

Create 绘图命令（二）

Chamfer　倒角	在两条直线之间倒直线角
Letter　文字	利用 Mastercam 提供的字体库（单线字、方块字、罗马字、斜体字）生成英文字母，或利用 Windows 提供的标准真字体（Truetype fonts）生成英文或中文字
Pattern　呼叫副图	把一个.GE3 文件的图形调入到当前显示屏幕上（子图形），可以缩放、旋转和镜像，屏幕上原来图形不变

（续）

Ellipse　椭圆		生成一个用 NURBS 曲线表达的椭圆
Polygon　正多边形		生成一个正多边形
Bound. Box　边界盒		生成一个已存在图素的包络长方形或长方体
Spiral/Helix　螺旋线		生成平面或空间螺旋线。可以设置为等螺距或变螺距，高度可以带锥度
Gear　齿轮		给出节圆直径、齿数、压力角等齿轮参数，生成外齿轮或内齿轮形
Htable　标注列表		对已存在图形中的整圆，列表标注出其代号、数量和直径值（或半径值）
Fplot　函数（方程式）	利用建立函数关系式（直角方程式或参数方程式），设置变量及范围，生成二维轮廓或三维曲面图形	
	Enter equ	建立方程式
	Get file	调出*.eqn 文件
	Save file	把新建的方程式存为*.eqn 文件
	Vars	设置变量名
	Angle R/D	角度变量的单位（弧度 Radius 或角度 Degress）
	Origin	坐标原点位置
	Geometry	生成图形的类型（可选择 points、lines、splines、surfaces、draw 等）
	Trace　Y/N	寻迹。选 Y 时，把方程式参数和变量值写入 fplot.log 文件中
	Plot it	执行（生成图形）
附：快速获取图素数据		在生成新图素过程中，直接获取需要的数据（如角度、直径、半径、长度、距离及坐标值）。例如在生成新图素过程中，当系统要求输入一数值时，可以键入相应的字母代号，并选取一个已存在的图素，则该图素相应的数据被选中。字母代号的含义为：A：角度；D：直径；L：长度；R：半径；S：两点间距离；X、Y、Z：坐标值

Modify 图形修整命令

Fillet　倒圆角	同 Create 中的 Fillet 命令一样	
Trim　修剪（包含延伸）	1 entity	修剪一个图素到另一个图素（另一个图素不变）
	2 entity	同时修剪两个图素到它们的交点（保留拾取的图素段）
	3 entity	同时修剪三个图素到它们的交点（选择的第三个图素分别与前两个图素一一修剪）
	To point	修剪所选择的图素到所选择点的垂足
	Many	同时修剪多个图素
	Close	将所选择的一圆弧转变成一个完整的圆
	Divide	分割：将第一条曲线落在另外两条曲线之间的部分修剪掉
	Surface	曲面间的修剪
Break　打断	2 pieces　打成两段	将线、弧、Spline 曲线或 NURBS 曲线打断成两段
	at Length　指定长度	将线、弧、Spline 曲线或 NURBS 曲线沿着给定长度的位置打断
	Many pieces　打成多段	将线、弧、Spline 曲线或 NURBS 曲线打断成两个以上的线段
	At inters　在交点处	将两个图素（线、弧或 Spline 曲线）可见的交点处同时断开
	Spt to arcs　曲线变弧	将一条二维 Spline 曲线或二维 NURBS 曲线打断成线和弧

（续）

Break　打断	Draft/line　注解文字	将注解文字（Note）打断成 NURBS 曲线或线段
	Hatch/line　剖面线	将剖面线打断成线段
	Cdate/line　复合资料	将复合线打断成点或线段
	Breakcir	将所有圆均匀断开成设定的段数
Join　连接	将两线段、圆弧或 Spline 曲线连接成一个图素（两线段必须同线，两圆弧必须有相同圆心和半径，两 Spline 曲线原来必须由同一个图素生成）	
Normal　正向切换	改变曲面的法线方向	
	Set	将所选择的若干曲面全部改成法向相对于 CP 平面“向上”
	Reverse	将所选择的曲面的法向反向
	Dynamic	动态改变法向
	Flip	反置（改变）
	Ok	不变
Cpts NBS　控制点	修改 NURBS 曲线或曲面的控制点，以生成新的 NURBS 曲线或曲面	
	Dynamic	动态移动控制点
	Point entity	输入控制点的新坐标位置
X to NBS　转成 NURBS	将线、弧、Spline 曲线和曲面转换为 NURBS 格式	
Extend　延伸	将一曲线（线、弧、样条）或曲面延伸给定的长度	
Drag　动态移位	动态地移动或复制图素到所给的新位置	
cnv to arcs　曲线变弧	把用样条表示的圆弧转换成用圆弧表示	

Xform 图形转换命令

Mirrow　镜像	将图素对于设定构图平面中的 X 轴、Y 轴或直线作镜像。所谓镜像是指图素对于一个平面的镜像。这个平面就是一面镜子，它垂直于 CP 构图平面，并通过一条操作者指定的直线的投影线	
	X axis	对 X 轴镜像
	Y axis	对 Y 轴镜像
	Line	对一条直线镜像
	2 point	对过两点的一条线镜像
Rotate　旋转	将图素对于原点或一指定点作旋转	
	Origin	旋转中心为构图原点
	Point	旋转中心为任意点（图素对于该点在构图平面上的投影点作旋转）
Scalt　比例缩放	将图素依输入等比例或 X、Y、Z 不同比例值，相对于原点或一指定点（投影点）缩小或放大	
Squash　压扁	将图素依给定的深度值平行移动、复制或连接到新的位置	
Translate　平移	将图素按下列方法平移	
	Rectangle	直角坐标：输入平移的向量（X_，Y_，Z_）
	Polar	极坐标：输入平移的距离和角度（仅二维）
	Between pts	两点间：将图素从某一点移到另一点

（续）

Translate　平移	between Vws	视角间：将图素从构图平面所设定的平面平移到刀具平面所设定的平面
Offset　单体补正	将一曲线（线、弧、样条）依法线方向等距偏移（给出补正距离和方向）	
ofs Ctour　串联补正	对一轮廓（一组头尾相连的图素）作补正	
Nesting　套叠排列	将若干种有一定数量的平面零件套叠排列在一块薄板零件上	
Stretch　牵引	将窗口内的图素平移，而将与窗口相交的图素作伸展	
Roil　缠绕	将平面上的图素绕卷于圆筒表面产生新的曲线	
转换参数	Move　移动	移动原来的图素
	Copy　复制	复制原来的图素
	Join　连接	将转换所得图素和原来图素的每个对应端点连接起来
	Number of steps	指定转换功能执行的次数
	Rotation angle	指定旋转的角度
	Cancel	取消
	Done	执行

Delete 图形删除命令

Chain　串联	选择若干串联图素进行删除	
Window　窗选	用窗口方式选择（完全包含）	
	Rectangle　矩形	用矩形方式选择
	Polygon　多边形	用多边形方式选择
	Inside　视窗内	删除全部包含在窗口内的图素
	In+intr　范围内	删除同窗口相交的和包含在窗口内的所有图素
	Intersect　相交物	删除同窗口相交的图素
	Out+intr　范围外	保留同窗口相交的和包含在窗口内的所有图素，删除其余图素（同 In+intr 相反）
	Outside　视窗外	保留全部包含在窗口内的图素，删除其余图素（同 Inside 相反）
	Use mask Y/N 限定图素	Y 时，Set mask 起作用 N 时，Set mask 不起作用
	Set mask　设定	设定同时满足某类型和属性的图素
Area　区域	选中封闭区域内的一点，删除区域的所有边界线	
Only　仅某图素	选择若干图素类型或属性，只对选中的图素并且符合所选择类型的图素或属性进行删除	
All　所有的	删除同类型（点、线、圆弧、样条曲线、曲面、尺寸线和所有图素），或同属性（颜色、图层）的所有图素。（可以 mask，即同时满足某类型和属性的图素）	
Group　群组	删除已定义的群组	
Result　结果	删除转换功能中的转换结果	
Duplicate　重复图素	删除完全重复的图素	
Undelete　撤销删除	恢复被删除的图素	
	Single　单一图素	一个个恢复被删除的图素
	Number　指定数量	恢复被删除图素的个数
	All　所有图素	恢复被删除的某种类型或属性的所有图素（可以 mask）

Analyze 分析命令

Point　点坐标	显示指定点的（x，y，z）坐标	
Contour　外形	显示组成轮廓或补正轮廓的每一个图素的几何信息	
Only　仅某图素	只能分析指定的某种类型的图素	
Between pts　两点间距	显示选中两点的距离等信息	
Angle　两线夹角	显示两条线的夹角和补角	
Dynamic　动态分析	显示沿着图素（线、弧、样条、曲面）上点的坐标、切矢、法矢	
Area/Volume　面积/体积	显示封闭轮廓、曲面或实体的面积、体积、质量、周长、质心、惯性矩等	
Number　图素编号	系统赋予每个图素一个号，输入号就能分析该图素	
Chain　串联物体	用以诊断串联可能发生的图素重叠等问题	
Surface　曲面分析	Curvature　曲面曲率	用着色显示曲面曲率的情况
	Test norms　曲面侦测	显示坏面（法矢突变）的个数
	Base surfs　基础曲面	检查修剪曲面的原始曲面个数
	Set normas　正向切换	使所选曲面法向向上（相对于 CP 平面）
	Check model　过切检查	检查修剪曲面的自交情况
	Check solid　实体检测	检查在实体操作中可能存在的问题
	Small surfs　小的曲面	检查小于给定面积的小曲面个数

File 文件管理命令

New　建立新文档	建立新图形：消除屏幕上的图形，使系统回到开机时的状态		
Edit　编辑	文件编辑：系统提供一功能强大的全屏幕编辑器（Mcedit），可在不退出系统的状态下编辑各类 ASCII 文件（NC、NCI、DOC、IGS、PST、AUTOEXEC、OTHER）		
Get　取档	调用图形文件，将其显示在屏幕上		
Merge　合并文档	图形合并：读入另一个图形文件，并显示在屏幕上，原屏幕上图形保留		
List　列出	列出 ASCII 文件内容，只能看，不能修改、编辑		
Save　存档	图形文件存盘：将屏幕上的几何图形存储为一图形文件		
Save some　部分存档	储存部分图形：将屏幕上的一部分几何图形存储为一图形文件		
Browse　浏览	图形浏览：浏览已存储在指定目录的图形文件（*.GE3），依次显示在屏幕上		
	Forward		显示前一个图形
	Backup		显示后一个图形
	Auto		自动显示一个个图形
	DeLay		自动显示时，下一个图形显示的延时时间
	Keep		保留当前屏幕上的一个图形
	Delete		删除当前屏幕上的一个图形
Converters　文档转换	图形转换：完成不同格式图形文件的读、写双向转换		
	图形数据交换标准	ASCII	这里的 ASCII 文件是指用一系列点的 XYZ 坐标组成的数据文件 系统可以把屏幕上的一组点写成 ASCII 格式的数据文件，也可以读取这种格式的文件，在屏幕上生成一组点、折线或样条曲线。系统可双向读写

（续）

Converters 文档转换	图形数据交换标准	STEP	STEP 是一个包含一系列应用协议的 ISO 标准格式，它可以描述实体、曲面和线框。这是一种最新的产品数据格式工业标准，包含了产品生命周期的所有信息。系统可以读取 STEP 文件
		Autodesk	与由美国 Autodesk 公司开发的 AutoCAD 软件和 Inventor 软件的图形文件格式作图形转换，包括可以写出两种类型的文件：DWG 文件和 DFX 文件，读取四种类型的文件：DWG 文件、DFX 文件、IPT 文件和 IAM 文件
		IGES	IGES（Initial Graphics Exchange Standard）文件格式是由美国提出的初始化图形交换标准，是目前使用最广泛、最有影响的图形交换格式之一。它支持曲线、曲面及一些实体的表达，是目前大多数三维 CAD 系统所必备的图形交换接口。系统可双向读写，并可扫描文件属性
		Parasld	Parasld 文件格式是一种新的实体核心技术标准，用于实体图形转换。系统可双向读写
		STL	STL 文件格式是在三维多层扫描中利用的一种 3D 网格数据格式，常用于快速成型（RP）系统中，也可用于数据浏览和分析中 STL 文件是由表示曲面和实体模型的三角片数据组成。Mastercam 可以读取和写出二进制格式或可读的 ASCII 格式的 STL 文件
		VDA	德国工业联合会 3D 图形数据标准。系统可双向读写
		SAT	SAT 文件格式是由美国 Spatial Technology Inc. 发展的 3D 几何图形核心 ACIS 产生的，用以处理实体模型，可以将其转换为修剪曲面。系统只能读取 SAT 文件
		Pro/E	可以直接读取 Pro/E 软件的图形文件
		Pre7 matls	把以前版本中曾经构建的材料库转换成 9 版相应的库，以便再使用
		Pre7 tools	把以前版本中曾经构建的刀具库转换成 9 版相应的库，以便再使用
		Pre7 parms	把以前版本中曾经构建的参数档转换成 9 版相应的参数档
		Saveas MC8	把 MC9 图形存储为 MC8 图形文件格式
		NFL	二维的 Anvil 软件（法国）的图形数据标准。系统可双向读写
		CADL	美国 CADKEY 软件采用的三维图形数据标准。系统可双向读写
Properties 摘要	显示图形文件属性，并可给予一段描述		
Dos Shell DOS 系统	暂时离开 Mastercam 系统，转入 DOS 环境下，可执行 DOS 命令。键入 Exit 可回到 Mastercam 系统，并不影响系统原来设置和图形显示		
RAM-saver 释放 RAM	消除因删除图素而出现的“孔”，整理 RAM，节省内存，提高运行速度		
Hardcopy 屏幕复制	将屏幕图形硬复制到打印机上		

（续）

Communic DNC　传输	数控加工程序的通信传输。通过 RS232 端口，完成 PC 与数控机床之间 NC 程序的双向传输	
	Format	NC 程序格式：ASCII、EIA、BIN
	Connector	通信连接口：Com1、Com2
	Bund rate	传输速率（波特率）：300 ～ 38400
	Parity	奇偶校验：奇校验 Odd、偶校验 Even、不校验 None
	Date bits	传输数据位数：6、7、8
	Stop bits	传输停止位数：1、2
	Send	发送数控程序
	Receive	接收数控程序
	Terminal	终端模拟
ReNumber　行号重编	将一个有行号的数控加工程序重新排行号，即改变起始行号和增量值	
Exit　离开系统	退出系统	

Screen 屏幕管理命令

Configure　系统规划	设置系统颜色、内存配置、公差设置、数据路径、传输参数、对话描述、绘图设置、功能键、设计设置、数控设置和杂项	
Statistics　统计图素	统计并显示当前屏幕中各种类型图素的数量	
Endpoints　端点显示	显示屏幕上所有线段、圆弧、样条曲线的两端点。可以存储这些点作为图素	
CLr colors　清除颜色	解除群组和结果的设定，并将其颜色改变成系统当前颜色	
CHg colors　改变颜色	将选取的图素颜色改变成系统当前颜色	
Chg leVels　改变图层	将选取的图素图层改变成系统当前图层	
Chg attribs　改变属性	改变图素的属性（颜色、图层、线型、线宽、点形式等）	
Surf Disp　曲面显示	Show back Y/N　显示背面	Y：曲面背面的颜色不同于正面颜色，为设定的背面色 N：曲面背面的颜色相同于正面颜色
	Back color　背面颜色	设定背面颜色
	Density　线条密度	曲面线条显示密度（0～15）
	All surfs　全部曲面	选中全部曲面
	Select　选取曲面	选取要显示的曲面
	ShAde　全时着色	对曲面和实体着色显示。可以设置像素数、环境亮度、材质、光源及透视、半透明、纹理效果
	Studio　多工着色	对曲面和实体进行渲染。可以读/写*.bmp 文件，可以打印输出
Surf Disp　曲面显示	Solids　实体显示	设置实体隐藏线显示的有关参数
Blank　隐藏图素	将选取的图素隐藏起来，即不显示在屏幕上。还可以用 Unblack 命令一一恢复被隐藏的图素	
Set main　设为主要	系统强迫使当前的图层和颜色同所选图素的属性相同	
Center　屏幕中心	改变屏幕中心在系统坐标系中的坐标值	
Hide　显示部分	将选取的图素保留下来，其余部分隐藏起来。再次执行该命令，快速恢复原图	
Sel grid　屏幕网格	设置网格点，并可捕获网格点来精确画图	

（续）

AutoCursor　Y/N　自动抓点	选 Y：光标移动时，自动抓取特殊点
Regenerate　重新显示	屏幕重绘，清除杂点，并且系统可按当前比例重新建立显示列表以提高显示速度
To clipbrD　至剪贴板	把图形转到剪贴板
Comb views　合并视角	合并平行的视图和搬移圆弧到合并的视角，常用于从其他软件作图形转换时，以减少不同构面个数
Viewports　多重视窗	显示不同视角的多重视窗（1～4 个）
Plot　出图	可设置绘图机型号、连接通信口参数等

Solid 实体生成命令

Extrude　挤出	将若干共平面的串联曲线外形，沿着一个指定的挤出方向和距离，拉伸而生成挤出实体
Revolve　旋转	将若干共平面的串联外形，绕着一指定直线旋转而生成旋转实体
Sweep　扫掠	将若干封闭的、共平面的串联外形（称为断面），沿着一串联路径扫掠而生成扫掠实体。断面和路径之间的角度一直保持不变
Loft　举升	将若干封闭的串联外形（断面），按选取的顺序以平滑或线性方式在外形之间熔接，并在第一个和最后一个外形上覆上实体面的方式而生成举升实体
Fillet　倒圆角	对实体的边界线，即在组成边界线的两个相邻面之间，生成光滑的圆角 实体倒圆角有圆形断面，它可以看作面之间的滚球熔接（Rolling Ball Blend），犹如一个球体沿着选取的边界线上滚动，并在球体路径上作并或差集运算以形成圆滑的边界
Chamfer　倒角	对实体的边界线，即在组成边界线的两个相邻面之间，以直线断面的边界熔接形式，通过并或差集运算插入一新面，生成实体倒角。新面与原始边界线的相邻面不是以相切方式连接
Shell　薄壳	将实体内部挖空，并给各实体面赋以一指定厚度值，生成薄壳实体
Boolean　布尔运算	对两个以上存在的实体作布尔运算（结合（并）、切割（差）、交集），生成一个新实体
Solids mgr　实体管理	在实体管理员视图中，以树状结构方式依产生顺序列出实体的每一个操作记录，包括操作的参数和图形，可以进行修改和编辑
Primitives　基本实体	生成基本的解析实体，包括生成圆柱体、圆锥体、立方体、圆球体和圆环体。这些简单实体的参数已被预先定义，用户可以给这些参数赋以数值，生成基本实体
Draft faces　牵引面	用以改变实体面的倾斜角度，特别适用于生成有拔模斜度的实体模具
Trim　修整	通过选取一平面、曲面或开放的薄片实体来修整一实体
Layout　绘三视图	从实体直接画出标准三视图。可以设置绘图的纸张大小、缩放比例、视图数量和表达方式（第一角法和第三角法）等视图属性
Find feature　寻找特征	寻找基于“主体（Body）”的实体的某些特征，包括孔和倒圆角。可以设置重新创建操作或者去除该特征。前者可以把特征加入到实体的历史树中，后者用于需要忽略这些特征来完成生成刀具路径的场合。还可以设置需要寻找特征（孔或倒圆角）的半径范围（最小值和最大值）
From surfaces　来自曲面	也叫缝合曲面（Stitch surfaces），是把若干曲面缝合成一个实体。如果所有这些若干曲面形成一个封闭体，并且每个曲面之间的间隙都在指定的公差之内，则结果就生成一个封闭的主体实体（Body Solid），否则生成一个开放的薄片实体 本命令可用于处理在读入某些软件的图形转换文件时可能遇到的问题。某些软件的实体用曲面来表达，或者用新的曲面来替代有问题的曲面，这种情况下，利用缝合曲面命令可以生成新的实体
Thicken　薄片加厚	给开放的薄片实体以一个厚度。这个厚度可以给予薄片的一侧或两侧，结果生成一个主体实体。开放的薄片实体可以来自于缝合曲面所生成的开放实体，也可来自于去除实体上的面后所生成的开放薄片实体。生成的主体实体可以像 Mastercam 生成的其他实体一样，被实体管理员命令进行管理和修改
Remove faces　移除面	去除实体上的面，结果生成一个开放的薄片实体。利用这个命令可以去除经检查后有问题的曲面，再通过生成新的曲面和缝合后形成新的实体

Toolpaths 刀具路径命令

New　起始设定	重新生成新的刀具路径，操作管理员视图中所有的加工操作被删除、置空
Contour　外形铣削	加工多个 2D 轮廓或 3D 轮廓（线框架构）。具有完成 2D 倒角、螺旋式渐降斜插、残料加工等加工功能
Drill　钻孔	对所选的点图素完成点位钻孔类加工，包括深孔钻、深孔啄钻、断屑式钻、攻螺纹、镗孔等。输出的数控加工程序包含固定循环指令（G81～G89）
Pocket　挖槽	切除一个封闭外形所包围的材料或铣削一个平面。封闭外形的内部可以包含许多岛屿，岛屿内部还可以嵌套岛屿，并可自动多次加工岛中之岛 具有完成一般挖槽（Standard）、边界再加工（Facing）、使用岛屿深度挖槽（Island Facing）、残料加工（Remachining）和开放式轮廓挖槽（Open）五种加工功能
Faces　面铣加工	快速切除零件顶面上的毛坯，加工出一个平面
Surfaces　曲面加工	对曲面和实体进行加工。利用 CAD 档，也可以调用 STL 图形交换文件（3D 网格数据格式），直接生成加工刀具路径，而不必利用 Mastercam 的图形文件 曲面加工分为曲面粗加工和曲面精加工。曲面粗加工方法包括平行铣削、放射状加工、投影加工、流线加工、等高外形、残料粗加工、挖槽粗加工和钻削式加工；曲面精加工方法包括平行铣削、放射状加工、投影加工、流线加工、等高外形、陡斜面加工、浅平面加工、交线清角、残料清角和 3D 等距加工
Multisxis　多轴加工	完成三轴、四轴或五轴的数控加工，有六种多轴加工方法： 曲线五轴加工：刀具沿着任意 3D 曲线或曲面的边界线或曲线在曲面上的投影线切削，生成三轴、四轴或五轴的加工路径。和外形铣削加工相比，它在刀具位置的设置上更加灵活和精确 钻孔五轴加工：刀具按零件的多个方向进行钻孔加工，生成三轴、四轴或五轴的刀具路径 沿边五轴加工：用刀具的侧刃来对零件的侧壁进行加工，生成四轴或五轴的刀具路径。这种加工方法在航空制造业有很广泛的应用 曲面五轴加工：对多曲面或实体进行加工，生成四轴或五轴的刀具路径 沿面五轴加工：通过控制残脊高度或步进量来生成精确、平滑的精加工刀具路径，输出格式可以是四轴或五轴的加工程序。通过参数值可以设置刀具轴的前倾（Lead）或后倾（Lag）角度，以及侧倾（Slid tilt）角度 旋转四轴：适合于加工近似圆柱体的零件。刀具轴可在垂直于旋转轴（X 轴或 Y 轴）的平面上旋转
Operation　操作管理	在操作管理员窗口中，以树状结构列出了每一个加工的操作记录。生成的刀具路径与图形参数、刀具参数、加工工艺参数具有关联性（Associate），即当这些参数中的任何部分改变时，只要更新（重新计算），就可以立即生成新的刀具路径 在操作管理员窗口中，还可以直接执行刀具路径模拟、实体切削验证、执行后处理和高速加工命令
Job setup　工作设定	设置工件（毛坯）尺寸、工件原点、材料以及设置刀具路径系统规划、刀具偏移和进给量计算等参数
Manual ent　手动输入	插入注释或特别码到数控加工程序（NC 文件）中
Cir tlpths　全圆路径	针对圆或圆弧图素的加工处理，包括全圆铣削、螺旋切割或自动钻孔等加工
Point　手动控制	刀具根据选取的若干点，生成一串点铣削刀具路径
Project　投影加工	将 NCI 文件中的刀具路径投影到平面、圆柱体面、圆球体面、圆锥体面或横断面上，生成新的 NCI 文件
Trim　路径修剪	选择曲线来修剪一个已存在的刀具路径（NCI 文件），生成新的刀具路径
Wireframe　线架构路径	通过选取线框架构的图形（不是曲面架构）来生成刀具路径，可以生成对直纹、旋转、扫描、昆氏和举升曲面的刀具路径。在旧版本软件（V3 版前）中，由于没有曲面造型方法，采用这种方法来生成刀具路径
Transform　路径转换	对已存在的刀具路径作平移、旋转或镜像处理，生成新的刀具路径
Import NCI　汇入 NCI	选取 NCI 文件，调入到当前的刀具路径的操作管理中
Solid drill　实体钻孔	完成对实体类零件的钻孔加工。实体钻孔功能具有特征识别技术，能自动搜索实体中的所有孔，并自动生成一组钻孔类加工的刀具路径

NC utils 公用管理命令

Verify 实体验证	根据刀具路径（NCI 文件），以实体模型方法仿真毛坯实体材料被切除的加工过程。实体验证的参数设定包括：可设置工件毛坯的形状为长方体、圆柱体或从 STL 文件（用于多层扫描的网格数据文件）中获取毛坯外形；可设置毛坯尺寸大小；设置仿真刀具的显示方式及其他显示属性；可设置换刀暂停、过切暂停等。这样可以在实际加工前，避免因发生零件过切而造成工件和零件的损坏
Backplot 路径模拟	根据刀具路径（NCI 文件），以线框方式模拟刀具路径的加工轨迹，可以显示出加工所需时间。路径模拟的参数设定包括：路径的步进显示方式（中间过程、端点显示）；刀具的移动方式（动态、静态）；手动单步模拟或自动连续执行；刀具和夹头的显示设定；路径的模拟着色和设置模拟旋转轴等
Batch 批次模式	批次模式主要用于针对复杂零件的编程。对于复杂零件，可能需要有多个加工操作，而每一个加工操作在计算刀具路径时又可能需要花费较多的运算时间，为此系统提供的这个批次模式允许使用者在每设定好一个加工操作时，不让 Mastercam 立即计算刀具路径，而是在所有的加工操作都设定好后，才一次让 Mastercam 来计算刀具路径及转换成加工 NC 程序，这样可以节省使用者每一次加工操作在计算机前等待的时间
Filter 程序过滤	对已存在的刀具路径作优化处理，即去除刀具路径在设定的过滤公差值范围内的点，以减小程序长度，提高加工效率。还可以用圆弧来代替线段
Post proc 后处理	将刀具路径文件（NCI 文件）转换生成数控加工程序。可以更改选择针对不同数控系统的 PST 后处理器文件
Setup sheet 加工报表	显示或打印与车间加工有关的各种加工参数报表，包括每一个操作所使用刀具的详细参数和示意图、每一个操作所选取的工艺参数 可以用图示化界面或用 DOC 文本文件输出加工报表参数
Def. Ops 定义操作	系统列出了 Mastercam 9.0 中所有 43 种加工方法刀具路径的参数设置，可以对各参数进行预设置
Def. Tools 定义刀具	可以定义新材料及其参数，放入系统的工件材料库中以被随时调用，还可以显示当前加工操作中使用的所有刀具
Def. Matls 定义材料	可以定义新刀具及其参数，放入系统的刀具库中以被随时调用，还可以显示当前加工操作中使用的工件材料
Edinci	这是以前旧版本中使用的一个命令，用以对刀具路径进行编辑和转换，包括对已存在的刀具路径 NCI 文件中的刀具路径段落进行增删、转换（镜像、旋转、缩放、平移），选择依刀具的排序方法来列出操作顺序，显出所选操作的刀具、工艺参数视窗和进行路径模拟，以及将多个刀具路径文件合并

附录 B　Mastercam 的快捷功能键

快　捷　键	功　　能
Alt+0	设构造平面 Z 高度
Alt+1	设置主颜色
Alt+2	设置主图层
Alt+3	设置限制图层
Alt+4	设置刀具平面
Alt+5	设置构造平面
Alt+6	设置几何视图
Alt+A	自动保存
Alt+B	工具条打开/关闭
Alt+C	运行 C-HOOKS
Alt+D	整体标注参数
Alt+E	隐藏/显示几何图形
Alt+F	字体菜单
Alt+G	高置屏幕网格点
Alt+H	在线帮助
Alt+I	列出打开文件
Alt+J	工作设置
Alt+L	设置线型、线宽
Alt+M	内存分配
Alt+N	编辑命名视图
Alt+O	任务管理器
Alt+P	提示区打开/关闭
Alt+Q	撤销最后操作
Alt+R	编辑最后操作
Alt+S	永久渲染打开/关闭
Alt+T	刀具路径显示打开/关闭
Alt+U	撤销最后一次操作
Alt+V	Mastercam 版本的 SIMM 系列号
Alt+W	视窗设置
Alt+X	从选定要素设置当前工作属性
Alt+Z	设置可视图层
Alt+’	设计两点抓图
Alt+Tab	应用程序间切换
Alt+-	选择另外要素隐藏
Alt+=	恢复选择要素的隐藏

（续）

快　捷　键	功　　能
Alt+F1	适度化几何图形
Alt+F2	缩小到原来的五分之四
Alt+F3	光标跟踪打开/关闭
Alt+F4	退出 Mastercam
Alt+F5	删除使用窗选法
Alt+F6	打开文件编辑菜单
Alt+F7	隐藏几何图形
Alt+F8	系统设置
Alt+F9	显示所有坐标系
F1	放大
F2	撤销放大
F3	重画
F4	分析菜单
F5	删除菜单
F6	文件菜单
F7	修改菜单
F8	设计菜单
F9	坐标轴显示/关闭
F10	列出所有功能
Tab/Shift+Tab	在对话框中移动控制选项
Esc	系统中断或返回上级菜单
Page Up	放大到 1.25 倍
Page Down	缩小到原来的五分之四
Arrow key(←↑→↓)	移动

附录 C　加工工艺程序单

客户：__________　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　　____年____月____日

图样编号：________________　　　产品名称：________________　　　零件名称：________________

编程人员：________________　　　　　　　　　　　　文件存档位置及文档名：________________

序　号	程　序　名	刀具型号	装刀长度	加工余量	加工时间	备　注
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						

说明： 1．装夹注意事项 2．X、Y 向加工原点 3．Z 向加工原点	装夹定位示意图

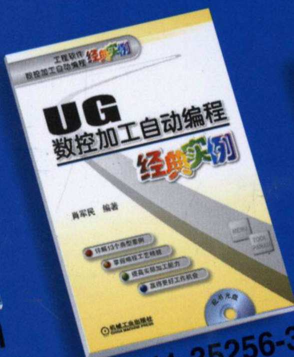
操作员：__________________上机时间：__________________落机时间：__________________合计时间：__________________。

参 考 文 献

[1] 韩鸿鸾，张秀玲．数控加工技师手册[M]．北京：机械工业出版社，2005．
[2] 何县雄．Mastercam 数控加工自动编程范例教程[M]．北京：化学工业出版社，2007．
[3] 张灶法，陆斐，尚洪光．Mastercam X 实用教程[M]．北京：清华大学出版社，2006．
[4] 朱维克，张延，等．Mastercam 应用教程[M]．2 版．北京：机械工业出版社，2006．
[5] 罗辑．数控加工工艺及刀具[M]．重庆：重庆大学出版社，2006．
[6] 单岩，谢斌飞．Imageware 逆向造型应用实例[M]．北京：清华大学出版社，2007．
[7] 徐伟，张伦玠．数控铣床职业技能鉴定强化实训教程[M]．武汉：华中科技大学出版社，2006．
[8] 阎红娟，李凯，方建军．Mastercam 10 数控自动编程技术及实例[M]．北京：化学工业出版社，2007．
[9] 沈建峰，朱勤惠．数控加工生产实例[M]．北京：化学工业出版社，2007．
[10] 许承东．Mastercam 数控加工应用技术实用教程[M]．北京：清华大学出版社，2007．
[11] 李超．数控加工实例[M]．沈阳：辽宁科学技术出版社，2005．
[12] 陈为，等．数控铣床及加工中心编程与操作[M]．北京：化学工业出版社，2007．
[13] 苏本杰．数控加工中心技能实训教程[M]．北京：国防工业出版社，2006．
[14] 李传民，王向丽，胡仁喜，等．Mastercam X MR2 中文版标准实例教程[M]．北京：机械工业出版社，2007．
[15] 方昆凡．公差与配合实用手册[M]．北京：机械工业出版社，2006．
[16] 孔庆华，等．极限配合与测量技术基础[M]．2 版．上海：同济大学出版社，2008．
[17] 武良臣，吕宝占．互换性与技术测量[M]．北京：北京邮电大学出版社，2009．
[18] 王荣兴．加工中心培训教程[M]．北京：机械工业出版社，2006．



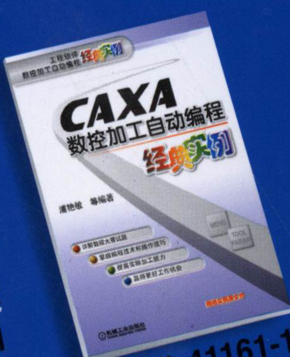
ISBN 978-7-111-33827-1



ISBN 978-7-111-35256-3



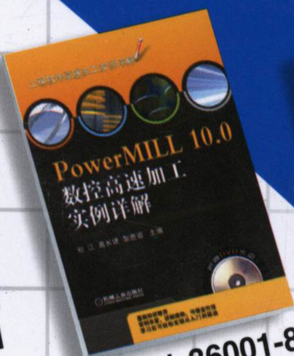
ISBN 978-7-111-40270-1



ISBN 978-7-111-41161-1



ISBN 978-7-111-28870-1



ISBN 978-7-111-36001-8



ISBN 978-7-111-37240-0



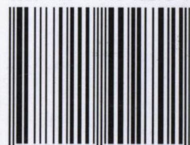
ISBN 978-7-111-41572-5

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
社服务中心：010-88361066
销售一部：010-68326294
销售二部：010-88379649
读者购书热线：010-88379203
网络服务
教材网：http://www.cmpedu.com
机工官网：http://www.cmpbook.com
机工官博：http://weibo.com/cmp1952
封面无防伪标均为盗版

上架指导 工业技术/机械工程/数控技术

ISBN 978-7-111-40270-1
ISBN 978-7-89433-696-5(光盘)

策划编辑◎周国萍



定价：39.00元（含配书光盘）